PHILIPS

CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Elektriciteitsleer

Leerlingboek AS 2

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

Tweede, herziene druk 1976
Derde druk 1977
Vijfde druk 1979

PHILIPS

CURSUS
BEDRIJFSELEKTRONICA

Elektriciteitsleer

Leerlingboek AS 2

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

OVER DEZE SCANS
Als basis voor deze scans hebben wij gebruik gemaakt van de door 'Freeservicemanuals' in 2018 gemaakte scans. Wij hebben de pagina's van deze scans echter zorgvuldig naar de originele staat gerestaureerd, onder andere door alle persoonlijke notities en de antwoorden op alle oefeningen en vragen te verwijderen.

Tweede, herziene druk 1976

Derde druk 1977

Vijfde druk 1979

161210

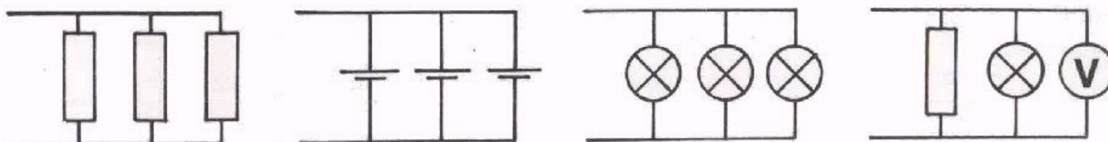
INHOUDSOPGAVE

b

A 12 PARALLELSCHAKELING VAN WEERSTANDEN

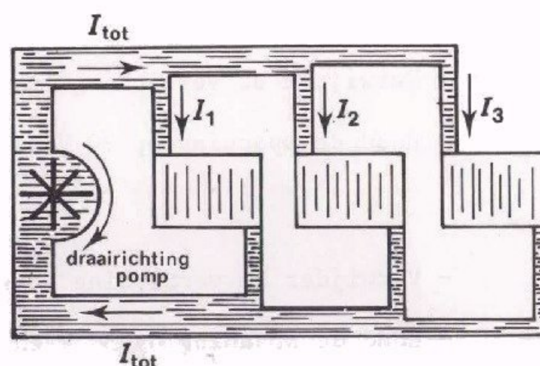
PARALLELSCHAKELEN

Verbinden we de ene kant van twee of meer componenten met elkaar en ook de andere kant, dan zijn die componenten "naast elkaar" of *parallel* geschakeld.



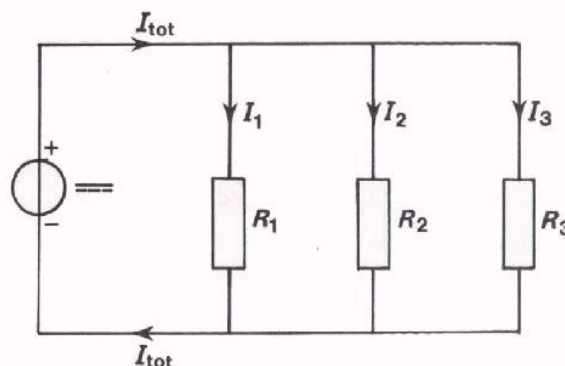
STROOMVERDELING

We veronderstellen dat een pomp water rondpompt in een centrale verwarmingsinstallatie.
Door de hoofdleiding loopt de waterstroom I_{tot}. Deze hoofdstroom vertakt zich in drie parallel staande leidingen.
Het zal duidelijk zijn, dat de waterstromen I_1, I_2 en I_3 door deze parallelleidingen samen even groot zijn als de hoofdstroom I_{tot}.



$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3$.

Elektrisch is er iets dergelijks aan de hand.
Een bron voert een elektrische stroom I_{tot} toe aan drie parallel geschakelde weerstanden.
Ook hier blijkt de hoofdstroom zich te verdelen.
De totale stroom:



$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3$.

In woorden:

De aan een parallelschakeling totaal toegevoerde stroom is gelijk aan de som van de stromen door de afzonderlijke componenten.

De door de afzonderlijke componenten lopende stromen noemt men wel de *deelstromen*.

Algemeen geldt bij parallelschakeling:

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + \ldots..$$

De totale stroom is gelijk aan de som van de deelstromen.

In de volgende opdracht gaan we de juistheid van deze bewering aantonen.

OPDRACHT: STROMEN BIJ PARALLELSCHAKELING

- Bouw op het oefenpaneel de schakeling van blad A12.3.
- Verbind punt P_1 met punt Q door middel van een snoertje.
- Stel de spanning in op 30 V en meet de stroom I_1 door de weerstand R_1.

I_1 =

- Verwijder de verbinding tussen P_1 en Q en verbind nu punt P_2 met S.
- Houd de spanning op 30 V en meet de stroom I_2 door de weerstand R_2.

I_2 =

- Verwijder de verbinding tussen P_2 en S en verbind punt P_3 met T.
- Houd de spanning op 30 V en meet de stroom I_3 door de weerstand R_3.

I_3 =

- Verwijder de verbinding P_3 met T en verbind P_1 met Q en P_2 met S. Houd de spanning op 30 V. Meet de stroom door de parallelschakeling van R_1 en R_2.

I_{1+2} =

- Verbind tenslotte ook P_3 met T. Houd de spanning op 30 V en meet de totale stroom door de parallelschakeling van R_1, R_2 en R_3.

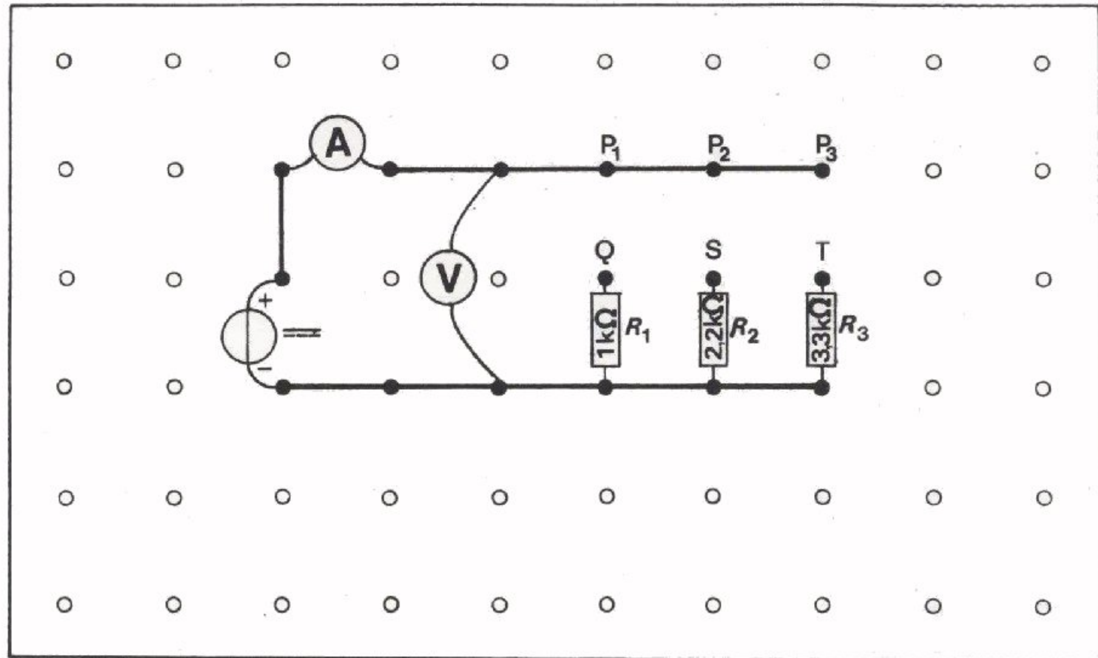
I_{tot} =

- Ga na of inderdaad geldt:

$$I_{1+2} = I_1 + I_2$$

en $I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3$

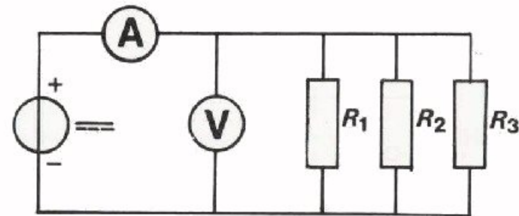
- Laat de schakeling op het paneel zitten.


A
P1
P2
P3
V
Q
S
T
+
−
1kΩ
R1
2,2kΩ
R2
3,3kΩ
R3

OPDRACHT

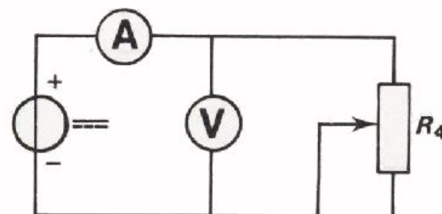
- Breid de schakeling op uw oefenpaneel uit met een potentiometer (R_4) van 2,2 kΩ, zie blad A12.5. Draai de potmeter in de middenstand.

- Verbind Q, S en T resp. met P_1, P_2 en P_3.
  Stel de spanning in op 25 V.
  Meet de stroom door de parallelschakeling van R_1, R_2 en R_3.



  I_{tot} = [ ]

- Verwijder de verbindingen en verbind nu P_3 door middel van een snoertje met het punt W van de potentiometer.



- Houd de spanning op 25 V en verplaats de loper van de potmeter voorzichtig totdat de stroom weer bovenstaande waarde heeft.
  Laat de potmeter in deze stand staan.

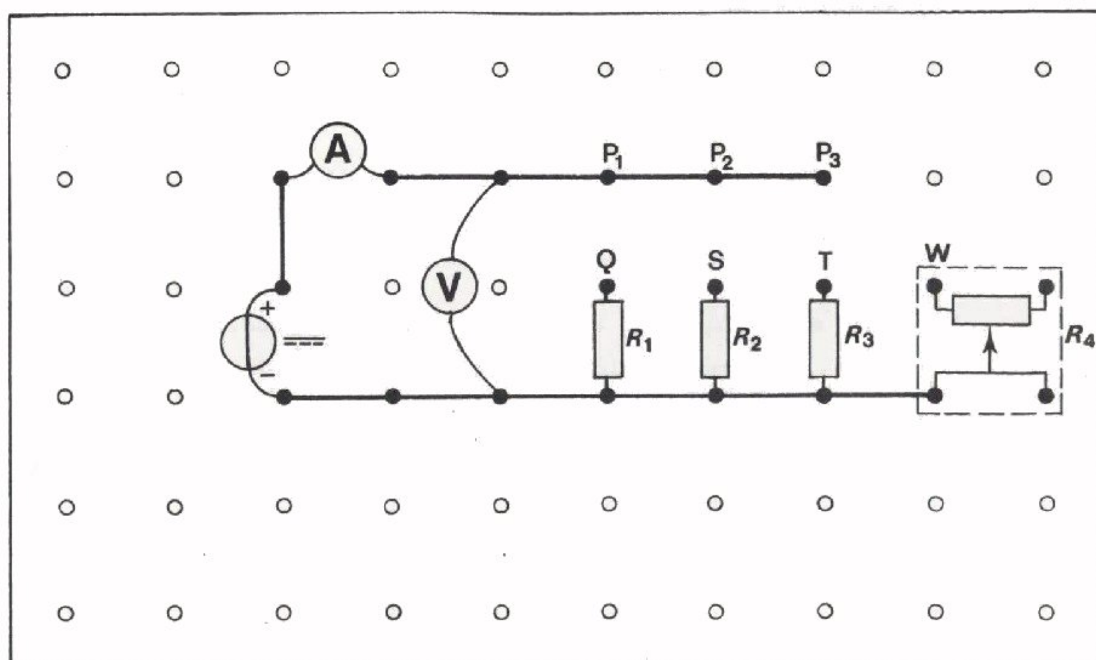
Wat hebben we nu gedaan?

We hebben er voor gezorgd dat bij dezelfde spanning precies dezelfde stroom door de potmeter loopt als door de parallelschakeling van R_1, R_2 en R_3.
We hebben de parallelschakeling van R_1, R_2 en R_3 dus vervangen door één weerstand.

- Verwijder de voedingsbron en de stroommeter. Meet met behulp van een ohmmeter de weerstand van de parallel geschakelde weerstanden R_1, R_2 en R_3. Deze weerstand blijkt te zijn: [ ]

- Meet eveneens met de ohmmeter de weerstand van de potmeter tussen punt W en de loper. Deze weerstand is: [ ]

- Breek de schakeling af.



CONCLUSIES UIT DE OPDRACHT

We hebben gezien, dat men een parallelschakeling van weerstanden kan vervangen door één weerstand. Bovendien valt op, dat de waarde van deze ene weerstand kleiner is dan de waarde van de kleinste weerstand; kleiner dan 1 kΩ in dit geval.

We kunnen de waarde van die ene weerstand ook uitrekenen als we de waarden van de afzonderlijke weerstanden kennen. Hiervoor is het nodig eerst nog wat aandacht te besteden aan het rekenen met breuken.

REKENEN MET BREUKEN

In verband met parallelschakelingen moeten we herhaaldelijk rekenen met breuken. Daarom geven we nu enkele regels voor het rekenen met breuken. Eerst een getallen-voorbeeld over het *delen* van breuken:

$$\frac{\frac{3}{4}}{\frac{9}{10}} = \frac{\cancel{3}^{1}}{\cancel{4}_{2}} \times \frac{\cancel{10}^{5}}{\cancel{9}_{3}} = \frac{5}{6}$$

- "Delen door een breuk" komt op hetzelfde neer als "vermenigvuldigen met het omgekeerde van die breuk".

Dit gaat ook op als men met letters rekent:

$$\frac{\frac{1}{a}}{\frac{m}{n}} = \frac{1}{a} \times \frac{n}{m} = \frac{1n}{am}$$

Nog een cijfervoorbeeld over het *optellen* van breuken:

$$\frac{4}{5} + \frac{3}{7} = \frac{4 \times 7}{5 \times 7} + \frac{3 \times 5}{7 \times 5} =$$

$$\frac{28}{35} + \frac{15}{35} = \frac{43}{35}$$

- Als men breuken met verschillende noemers moet optellen, dan moet men eerst zorgen dat die noemers hetzelfde worden. Dit kan men bereiken door de teller en de noemer van elke breuk met een geschikt getal te vermenigvuldigen.

  "Er voor zorgen dat bij verschillende breuken de noemer hetzelfde wordt" heet *gelijknamig maken* van breuken.

  Gelijknamige breuken telt men op door de tellers op te tellen. Voor aftrekken geldt dezelfde regel.

Breuken met letters behandelt men op dezelfde manier:

$$\frac{1}{A} + \frac{1}{B} = \frac{1 \cdot B}{A \cdot B} + \frac{1 \cdot A}{B \cdot A} =$$

$$\frac{B}{AB} + \frac{A}{AB} = \frac{A + B}{AB}$$

$$\frac{2}{C} - \frac{3}{D} = \frac{2 \cdot D}{C \cdot D} - \frac{3 \cdot C}{D \cdot C} =$$

$$\frac{2D}{CD} - \frac{3C}{CD} = \frac{2D - 3C}{CD}$$

OEFENINGEN

1. Bereken: $\frac{1}{15} + \frac{1}{12} =$

2. Bereken: $\frac{1}{2} + \frac{1}{6} - \frac{1}{8} =$

3. Bereken: $\frac{\frac{1}{3}}{\frac{1}{2}} =$

4. Als $\frac{1}{R} = \frac{3}{6}$, dan: $R =$

5. Bereken: $P = \frac{1}{Q} + \frac{1}{S} =$

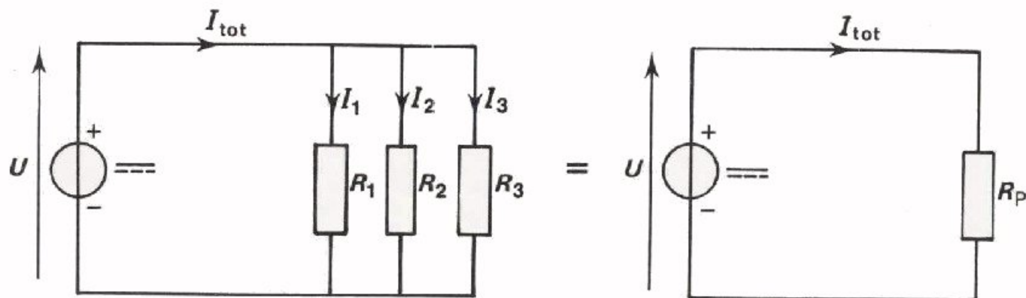
6. Bereken C, als $\frac{1}{C} = \frac{1}{A} - \frac{1}{B}$ $C =$

7. Bereken R, als $\frac{1}{R} = \frac{1}{100} + \frac{1}{200} + \frac{1}{300}$ $R =$

8. Bereken: $\frac{\frac{U_1}{R_1}}{\frac{U_2}{R_2}} =$

BEREKENING VAN DE VERVANGINGSWEERSTAND

In de voorafgaande opdracht hebben we gezien dat men de parallelschakeling van drie weerstanden kan *vervangen* door één weerstand R_p. De "belasting" R_p gedroeg zich hetzelfde als de parallelschakeling van de drie weerstanden R_1, R_2 en R_3.
R_p is de *vervangingsweerstand* van de drie parallel geschakelde weerstanden R_1, R_2 en R_3.



Als R_1, R_2 en R_3 bekend zijn, dan kan men R_p als volgt berekenen.

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_{tot}$$

Over R_1, R_2 en R_3 staat dezelfde spanning U. Door de wet van Ohm toe te passen vinden we:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} \quad \text{en} \quad I_{tot} = \frac{U}{R_p}$$

De bovenstaande formule voor I_{tot} kunnen we dan schrijven:

$$\frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = \frac{U}{R_p}$$

of $$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_p}$$ (We hebben door U gedeeld).

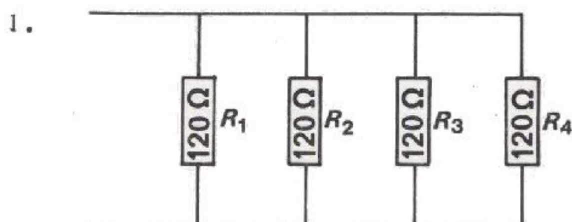
In dit voorbeeld stonden drie weerstanden parallel. Het zal duidelijk zijn, dat voor meer weerstanden parallel geldt:

$$\boxed{\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \ldots\ldots}$$

OEFENINGEN

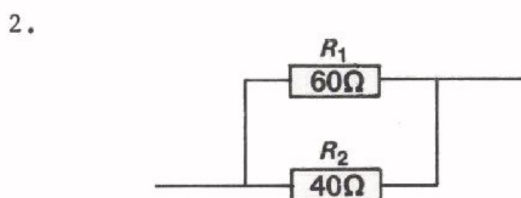
Hieronder zijn een aantal parallelschakelingen van weerstanden gegeven. Bereken op een afzonderlijk vel papier telkens de vervangingsweerstand R_p en noteer deze in de daarvoor bestemde hokjes.

1.



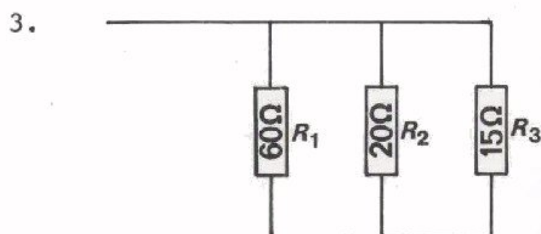
R_p = [ ]

2.



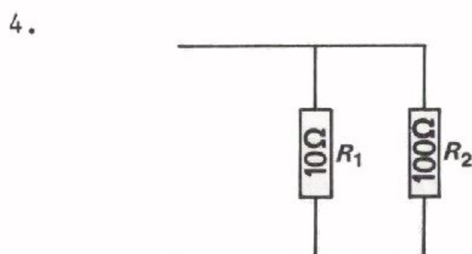
R_p = [ ]

3.



R_p = [ ]

4.



R_p = [ ]

BELANGRIJKE OPMERKING

In bovenstaande voorbeelden kunt u zien, dat bij parallelschakeling van weerstanden de vervangingsweerstand steeds een lagere waarde heeft dan de kleinste van de parallel geschakelde weerstanden. Zie ook blad A12.5.

Onthoud:

Bij *parallelschakeling* van weerstanden is de vervangingsweerstand altijd *kleiner dan de kleinste* weerstand.

EEN HANDIGER BEREKENING VAN R_p

Om de waarde van de vervangingsweerstand van *twee* parallel geschakelde weerstanden te berekenen kan men gebruik maken van de formule:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Hieruit kan men R_p niet direct berekenen. We kunnen de formule eerst wat anders gaan schrijven.

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2} + \frac{1 \cdot R_1}{R_2 \cdot R_1}$$ (gelijknamig maken)

$$\frac{1}{R_p} = \frac{R_2}{R_1 R_2} + \frac{R_1}{R_1 R_2}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}$$ (gelijknamige breuken optellen)

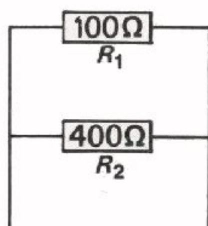
$$\boxed{R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}$$ (beide breuken omgekeerd)

- In woorden:

  De vervangingsweerstand van *twee* parallel geschakelde weerstanden is gelijk aan het produkt gedeeld door de som van de afzonderlijke weerstanden.

Met behulp van deze formule kan men veel vlotter rekenen.

Voorbeeld.



Hoe groot is de vervangingsweerstand in nevenstaand geval?

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$R_1 = 100\ \Omega$

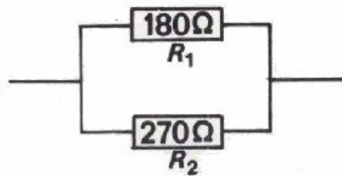
$R_2 = 400\ \Omega$

$$R_p = \frac{100 \cdot 400}{100 + 400} = \frac{40\ 000}{500} = 80\ \Omega.$$

Opmerking:
Voor méér dan twee parallel geschakelde weerstanden geldt *niet* zo'n eenvoudige formule voor de vervangingsweerstand R_p!

OEFENINGEN

1.



Bepaal de vervangingsweerstand van deze schakeling met de formule:

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

R_p = ▭

2. Bereken op deze manier R_p als R_1 = 810 Ω en R_2 = 270Ω.

R_p = ▭

3. Men heeft een weerstand van 220 Ω. Welke weerstand moet men hieraan parallel schakelen, opdat de vervangingsweerstand van deze schakeling 200 Ω zal worden?

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{200} = \frac{1}{220} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{200} - \frac{1}{220} = \frac{1}{R_2}$$

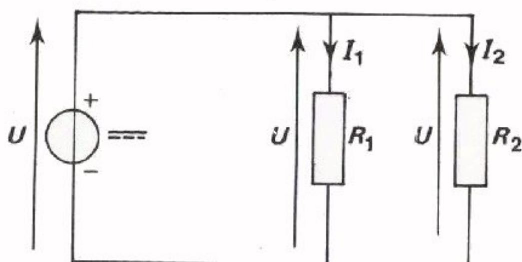
$$\frac{1}{R_2} = \underline{\qquad\qquad}$$

R_2 = ▭

4. Bereken welke weerstand R men aan 560 Ω parallel moet schakelen, opdat de vervangingsweerstand 380 Ω wordt.

R = ▭

DE VERHOUDING VAN DE DEELSTROMEN



In deze schakeling staan R_1 en R_2 parallel. R_1 en R_2 zijn ongelijk. Over R_1 en R_2 staat *dezelfde spanning*.

De stromen I_1 en I_2 zijn verschillend.

Met behulp van de wet van Ohm kan men de verhouding van de stromen berekenen.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\frac{U}{R_1}}{\frac{U}{R_2}} = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_2}} \quad \text{of} \quad \boxed{I_1 : I_2 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2}}$$

De stromen door twee parallelgeschakelde weerstanden verhouden zich dus als de *omgekeerde waarden* van die weerstanden.

Voorbeeld.

Veronderstel, dat in bovenstaande schakeling $R_1 = 100\ \Omega$, $R_2 = 120\ \Omega$ en de spanning $U = 600$ V.

De verhouding van de stromen:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_2}} = \frac{\frac{1}{100}}{\frac{1}{120}} = \frac{1}{100} \times \frac{120}{1} = \frac{6}{5}, \text{ of}$$

$$I_1 : I_2 = 6 : 5.$$

Ook is:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{600}{100} = 6 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{600}{120} = 5 \text{ A}.$$

I_1 en I_2 blijken zich inderdaad te verhouden als 6 : 5.

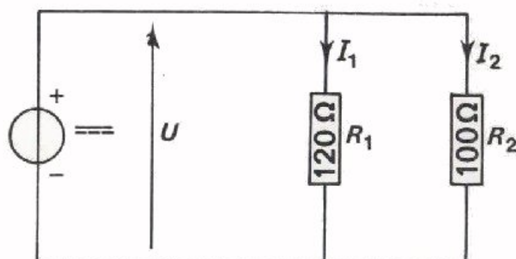
Een belangrijke conclusie uit het bovenstaande is, dat bij parallelschakeling door de *grootste* weerstand de *kleinste* stroom en door de *kleinste* weerstand de *grootste* stroom gaat.

Verder geldt b.v. voor een parallelschakeling van drie weerstanden:

$$\boxed{I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}}$$

Dit kan men op dezelfde manier afleiden.

OPDRACHT



In deze schakeling gaan we de stromen I_1 en I_2 meten.

- Bouw deze schakeling op het oefenpaneel volgens het voorbeeld hieronder.
- Stel de spanning U in op 6 V.
- Meet de stroom I_1 en noteer de gevonden waarde hieronder.
- Meet de stroom I_2 en noteer de gevonden waarde hieronder.
- Bepaal nu de verhouding: $I_1 : I_2$.

I_1 = [ ]

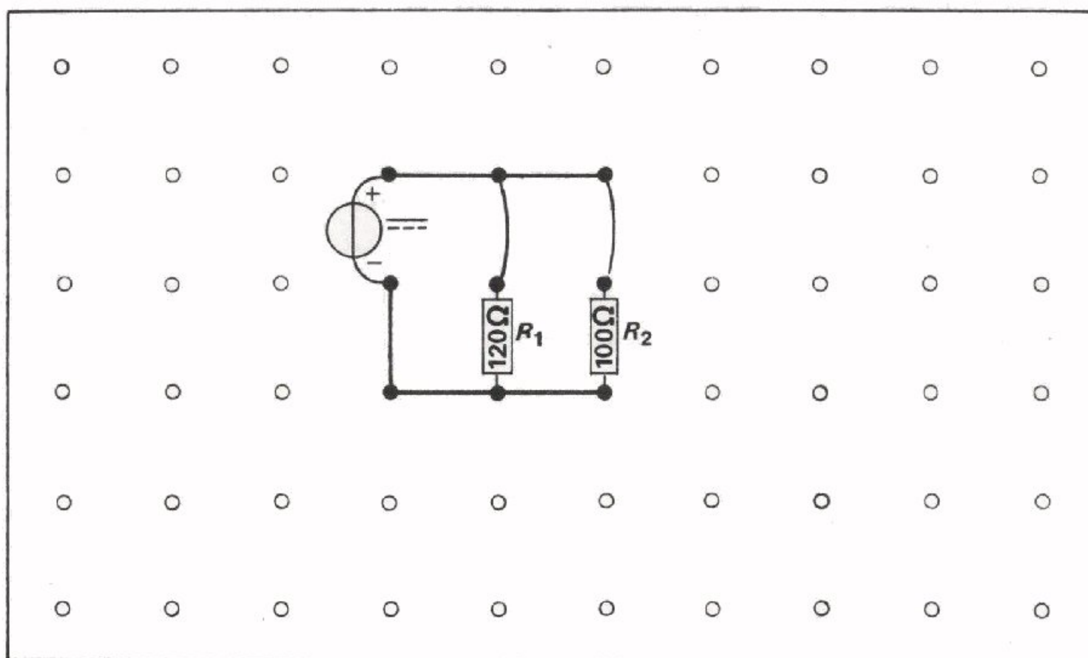
I_2 = [ ]

Merk nogmaals op, dat door de grootste weerstand de kleinste stroom loopt en door de kleinste weerstand de grootste stroom!

$I_1 : I_2 = \frac{I_1}{I_2} = \frac{\quad}{\quad} = 0,$ (twee plaatsen achter de komma).

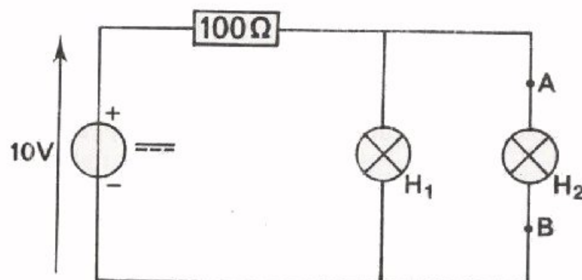
- Bepaal evenzo de verhouding: $\frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} =$ 0,

Geldt inderdaad: $I_1 : I_2 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2}$?



PRAKTISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DE PARALLELSCHAKELING

OPDRACHT



- Bouw bovenstaande schakeling op het oefenpaneel.
  $H_1 = H_2 = 6$ V/0,05 A.
- Stel de spanningsbron in op ongeveer 10 V. Beide lampjes zullen nu branden.
- Schroef H_1 los. U ziet, dat H_2 blijft branden.
- Schroef H_1 weer vast en schroef H_2 nu los. U ziet, dat H_1 blijft branden. Schroef daarna H_2 weer vast.
- Verbind de punten A en B uit het schema op het paneel door middel van een snoertje. Wat gebeurt er nu met H_1 en met H_2?

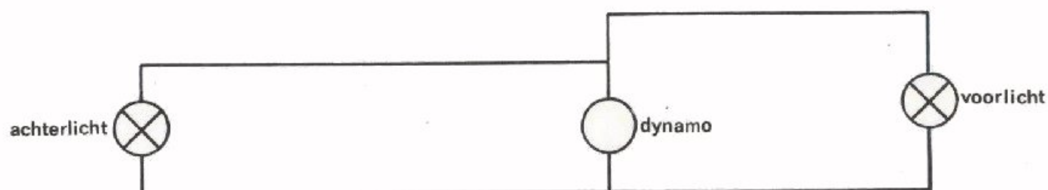
Antwoord:

De "verbinding" die u met het snoertje parallel aan H_2 hebt gebracht heeft een zeer kleine weerstand, (minder dan 0,01 Ω). De vervangingsweerstand van H_1 en H_2 is ongeveer 60 Ω. Hieruit volgt, dat bijna alle stroom door de "verbinding" zal gaan. Zo'n verbinding noemt men een *kortsluiting*. Het aanbrengen van een zeer kleine parallelweerstand heet *kortsluiten*.

CONCLUSIES

- Als men een parallelschakeling van componenten op een spanning aansluit, dan zal bij onderbreking van één component de andere toch stroom blijven voeren.

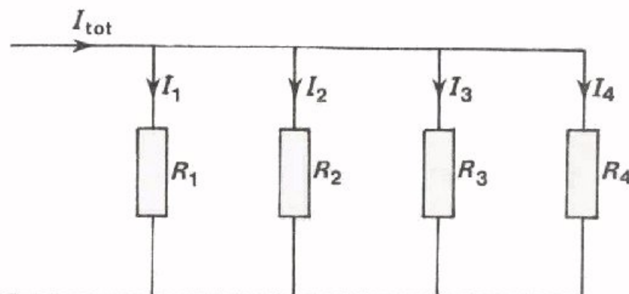
  Voorbeeld: Bij een fiets staan voor- en achterlicht parallel op de dynamo. Gaat het lampje van uw achterlicht stuk, dan blijft het voorlicht branden.



- Als men een parallelschakeling van componenten op een spanning aansluit, dan zal bij kortsluiting van één component niet alleen door deze ene, maar ook door alle andere componenten vrijwel geen stroom meer lopen. Alle stroom gaat door de kortsluiting.

  Voorbeeld: Treedt bij uw fiets een kortsluiting op, b.v. in de fitting van het achterlicht, dan gaat het achterlicht zowel als het voorlicht uit.

SAMENVATTING



- In deze schakeling staan een aantal weerstanden *parallel.*
- Over elke weerstand staat *dezelfde spanning.*
- Bij parallelschakeling geldt:

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + \ldots.$$

De totale stroom is gelijk aan de *som* van de *deelstromen.*

- Een parallelschakeling van weerstanden kan men vervangen door één weerstand, de z.g. *vervangingsweerstand.*
- Deze vervangingsweerstand R_p kan men berekenen met de formule:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \ldots.$$

- Deze formule geldt ook voor twee parallel geschakelde weerstanden.

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Voor *twee* weerstanden is de formule in een handiger vorm te schrijven als:

$$R_p = \frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$$

- Bij parallelschakeling van weerstanden is de vervangingsweerstand R_p altijd *kleiner* dan de *kleinste* weerstand.
- Bij parallel geschakelde weerstanden geldt voor de *verhouding* van de deelstromen:

$$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$$

- Bij parallelschakeling van weerstanden gaat door de *kleinste* weerstand de *grootste* stroom.
- Brengt men parallel een zeer lage weerstand aan dan spreekt men van *kortsluiten.*

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

1. Van 8 parallel geschakelde weerstanden van elk 80 Ω is de vervangingsweerstand:

   R_p =

2. De vervangingsweerstand van 12 dezelfde weerstanden die parallel geschakeld staan blijkt 1,5 Ω. Elk van die weerstanden is dan:

3. Gegeven: R_1 = 300 Ω
   R_2 = R_3 = 400 Ω

   Gevraagd: de vervangingsweerstand bij parallelschakeling van R_1, R_2 en R_3.

   R_p =

4. Men heeft een weerstand van 12 kΩ. Welke weerstand moet men daaraan parallel schakelen, opdat de vervangingsweerstand van het geheel 10 kΩ wordt?

5. In een huisinstallatie met een netspanning van 220 V zijn ingeschakeld:

   een elektrische kachel van 110 Ω,
   drie gloeilampen van 500 Ω,
   een kookplaat van 55 Ω.

   Is een smeltveiligheid - zekering - van 6 A voldoende?

6. Een voorlamp van een fiets neemt een stroom op van 450 mA bij een spanning van 6 V. De weerstand van deze lamp is:

Het achterlichtje van die fiets neemt 50 mA bij 6 V. De weerstand van deze lamp is:

Bepaal de totale weerstand waardoor de fietsdynamo wordt belast, als voor- en achterlicht branden:

R_{tot} =

Bereken de totale stroom die door de dynamo wordt geleverd bij een spanning van 6 V. Maak daarbij gebruik van de gevonden waarde van R_{tot}.

I_{tot} =

Klopt dit met de opgegeven waarden voor de stroom van voor- en achterlicht?

7. Twee lampen staan parallel. Samen nemen zij een stroom op van 750 mA. De weerstanden R_1 en R_2 van deze lampen verhouden zich als 1 : 2. Hoeveel stroom neemt de weerstand R_1 op?

I_1 =

8. Vier parallel geschakelde weerstanden zijn aangesloten op een spanning van 9 V.

$R_1 = 15\ \Omega$
$R_2 = 18\ \Omega$
$R_3 = 30\ \Omega$
$R_4 = 60\ \Omega$

Bepaal de stroom door iedere weerstand en de totale stroom.

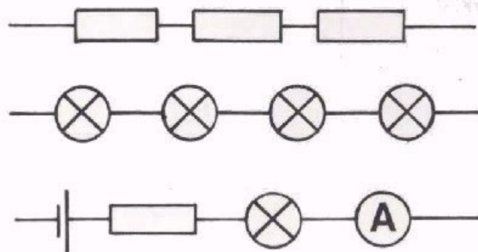
I_1 = I_2 =

I_3 = I_4 =

I_{tot} =

A 13 SERIESCHAKELING VAN WEERSTANDEN

SERIESCHAKELING

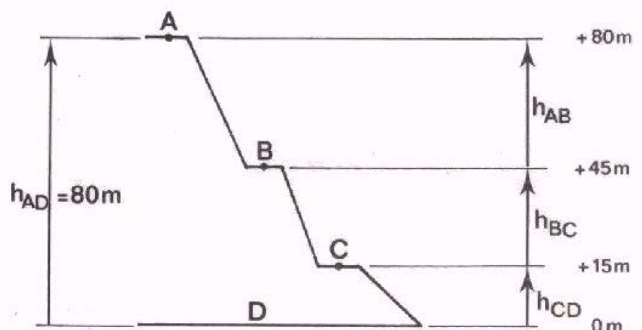


Als men een aantal componenten "achter elkaar" zet, dan spreekt men van *in serie* schakelen.

Bij serieschakeling loopt door elke component *dezelfde stroom*

SPANNINGEN BIJ EEN SERIESCHAKELING

Reeds eerder hebben wij spanningen vergeleken met hoogteverschillen.
Lees er les A3 nog eens op na.



In deze figuur is een berglandschap voorgesteld.
Ten opzichte van D ligt A op 80 m of h_{AD} = 80 m.
Verder ligt:
C 15 m boven D of h_{CD} = 15 m
B 30 m boven C of h_{BC} = 30 m
A 35 m boven B of h_{AB} = 35 m

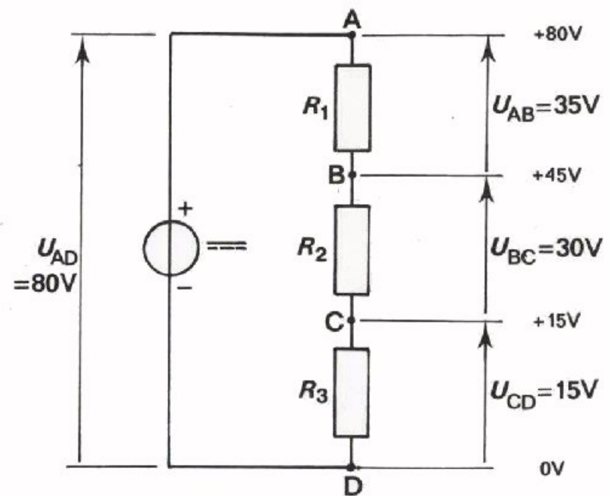
Uit de figuur volgt: $h_{AD} = h_{CD} + h_{BC} + h_{AB}$ of $80 = 15 + 30 + 35$.

Onder woorden gebracht:

de totale hoogte h_{AD} is gelijk aan de som van de deelhoogten h_{CD}, h_{BC} en h_{AB}.

Bekijken we nu het overeenkomstig elektrisch geval.

In deze schakeling is een spanning U_{AD} = 80 V aangesloten op eenserieschakeling van drie weerstanden. Deze spanning verdeelt zich over deze weerstanden. De spanningen over de afzonderlijke weerstanden noemt men *deelspanningen*. In dit voorbeeld:

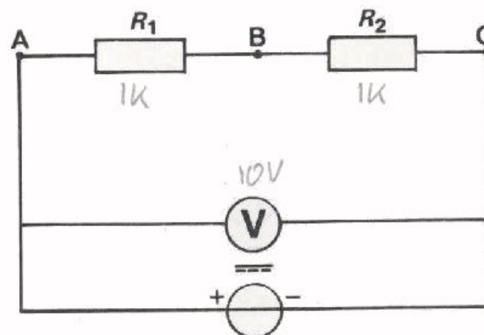


U_{AB} = 35 V
U_{BC} = 30 V
U_{CD} = 15 V

De som van alle deelspanningen moet gelijk zijn aan de totale spanning:

$$U_{AD} = U_{CD} + U_{BC} + U_{AB}$$

OPDRACHT: SPANNINGSDELING



- Bouw op het oefenpaneel een schakeling volgens bovenstaand schema. Neem $R_1 = R_2 = 1\ k\Omega$.
- Voer een spanning toe van 10 V.
- Verplaats de voltmeter en meet de spanning over de weerstand R_1. Let op de polariteit (+ en − aansluiting) van de meter!

$U_{AB} =$

- Meet daarna de spanning over de weerstand R_2.

$U_{BC} =$

- Tel de gemeten spanningen op:

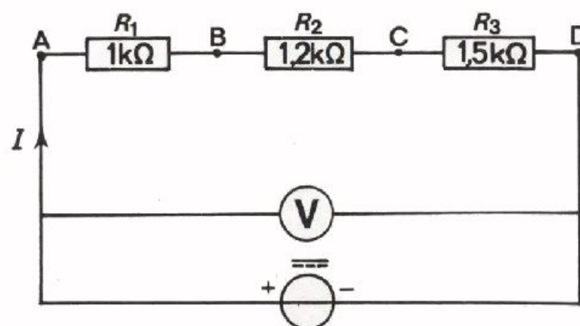
$U_{AB} + U_{BC} =$

- Ga na of inderdaad geldt:

$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$$

We hebben in deze opdracht de spanningsdeling over twee gelijke weerstanden bekeken. In de volgende opdracht onderzoeken we de spanningsdeling over drie ongelijke weerstanden.

OPDRACHT: SPANNINGSDELING OVER ONGELIJKE WEERSTANDEN.



- Bouw deze schakeling op het oefenpaneel.
- Voer een spanning U_{AD} toe van 18,5 V.
- Meet de deelspanningen. Let telkens op de polariteit bij aansluiting van de voltmeter.

U_{AB} = ______

U_{BC} = ______

en U_{CD} = ______

\+ ______

Hieruit volgt: U_{AD} = ______

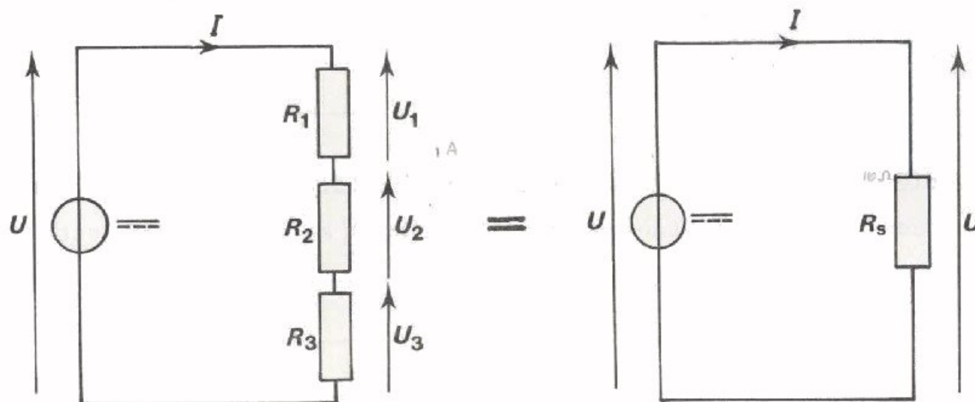
- Ga na of inderdaad geldt:

$$U_{AD} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD}$$

- Breek de schakeling nog niet af.

DE VERVANGINGSWEERSTAND

Evenals bij een parallelschakeling van weerstanden kunnen we bij een serieschakeling van weerstanden spreken van de *vervangingsweerstand.*



Een spanning U veroorzaakt een stroom I door de serieschakeling van R_1, R_2 en R_3. Er is altijd een weerstand R_s denkbaar waardoor bij *dezelfde* spanning een *gelijke* stroom I loopt. Deze weerstand R_s noemen we de vervangingsweerstand van de serieschakeling. Deze vervangingsweerstand kunnen we als volgt berekenen:

Schema links		Schema rechts	
U	=	U	
$U_1 + U_2 + U_3$	=	U	
$R_1I + R_2I + R_3I$	=	R_sI	(wet van Ohm)
$\frac{R_1I}{I} + \frac{R_2I}{I} + \frac{R_3I}{I}$	=	$\frac{R_sI}{I}$	(alle termen delen door I)
$R_1 + R_2 + R_3$	=	R_s	

Zijn er meer weerstanden in serie geschakeld, dan geldt evenzo:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \ldots.$$

- De vervangingsweerstand bij een serieschakeling is gelijk aan de *som* van de weerstanden.

Belangrijke opmerking.

- Bij een serieschakeling van weerstanden is de vervangingsweerstand *groter* dan de *grootste* weerstand.

OEFENINGEN

1. Vier weerstanden: R_1 = 1,2 kΩ
R_2 = 5,6 kΩ
R_3 = 10 kΩ
en R_4 = 12 kΩ zijn in serie geschakeld.

De vervangingsweerstand bedraagt:

2. Drie weerstanden zijn in serie geschakeld. De totale weerstand is 2k2. Twee van die weerstanden zijn 100 E en 1 k. De derde weerstand is:

3. 24 weerstanden van 120 Ω staan in serie. De vervangingsweerstand is:

4. Drie gelijke weerstanden staan parallel. R_p = 1100 Ω. Als men deze weerstanden in serie schakelt dan wordt R_s:

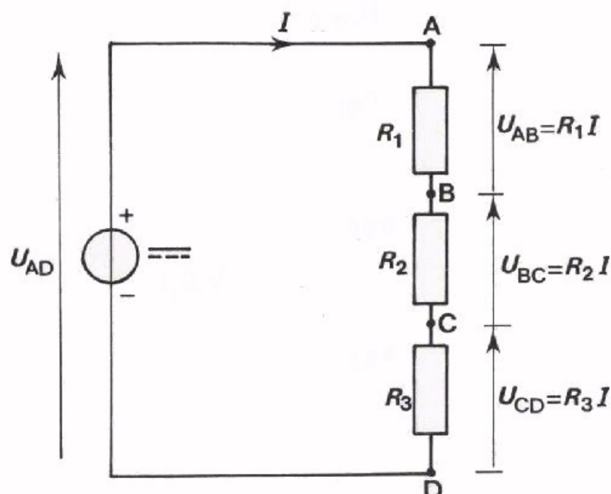
5. U hebt nodig een weerstand van 480 Ω. Deze waarde komt niet voor in een reeks. U stelt de gewenste waarde samen door *drie* weerstanden in serie te schakelen. U hebt daarbij de keuze uit weerstanden van: 82 E, 100 E, 120 E, 150 E en 180 E.
Welke waarden neemt u dan?

weerstand(en) van	E
weerstand(en) van	E

6. 14 lampjes van 14 V - 0,4 A moeten in serie worden aangesloten op 220 V. Hoeveel ohm weerstand moet u nog in serie schakelen om te zorgen dat de stroom door de schakeling inderdaad 0,4 A is?

serieweerstand:

DE VERHOUDING VAN DE DEELSPANNINGEN



In deze schakeling staan drie ongelijke weerstanden R_1, R_2 en R_3 in serie. Door R_1, R_2 en R_3 loopt *dezelfde stroom*. De deelspanningen U_{AB}, U_{BC} en U_{CD} zijn verschillend.

Met behulp van de wet van Ohm kan men de verhouding van de deelspanningen berekenen:

$$U_{AB} : U_{BC} : U_{CD} = R_1 I : R_2 I : R_3 I$$

$$= \frac{R_1 I}{I} : \frac{R_2 I}{I} : \frac{R_3 I}{I}$$

$$\boxed{U_{AB} : U_{BC} : U_{CD} = R_1 : R_2 : R_3}$$

Bij een serieschakeling verhouden de deelspanningen zich dus als de weerstanden waarover zij staan.

Voorbeeld:

Veronderstel, dat in bovenstaande schakeling $R_1 = 100\ \Omega$, $R_2 = 200\ \Omega$ en $R_3 = 300\ \Omega$.
De verhouding van de deelspanningen is dan:

$$U_{AB} : U_{BC} : U_{CD} = 100 : 200 : 300 = 1 : 2 : 3.$$

Als de totale spanning $U_{AD} = 1{,}2$ V gegeven is, dan kan men de stroom door de schakeling berekenen.
De vervangingsweerstand is immers: $100 + 200 + 300 = 600\ \Omega$,
dus $I = \frac{1{,}2}{600} = 2$ mA.

Nu volgt: $U_{AB} = R_1 I = 100.2.10^{-3} = 0{,}2$ V

$U_{BC} = R_2 I = 200.2.10^{-3} = 0{,}4$ V

$U_{CD} = R_3 I = 300.2.10^{-3} = 0{,}6$ V +

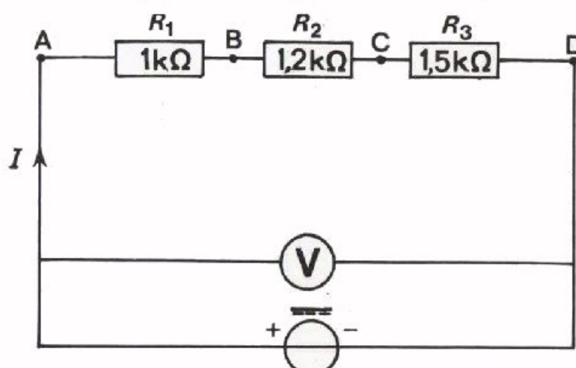
totaal = 1,2 V

De deelspanningen verhouden zich inderdaad als:

$$0{,}2 : 0{,}4 : 0{,}6 = 1 : 2 : 3$$

Merk op, dat over de *grootste* weerstand ook de *grootste* deelspanning staat.

OPDRACHT



Op het oefenpaneel bevindt zich bovenstaande schakeling nog. In deze schakeling gaan we de verhouding van de deelspanningen bepalen.

- Stel de totale spanning in op 7,4 V.
- Meet met dezelfde voltmeter de deelspanningen:

U_{AB} = ☐

U_{BC} = ☐

U_{CD} = ☐

──────────── +

U_{AD} = ☐

- Controleer of de totale spanning U_{AD} inderdaad gelijk is aan de som van de deelspanningen.
- De verhouding van de weerstanden is:

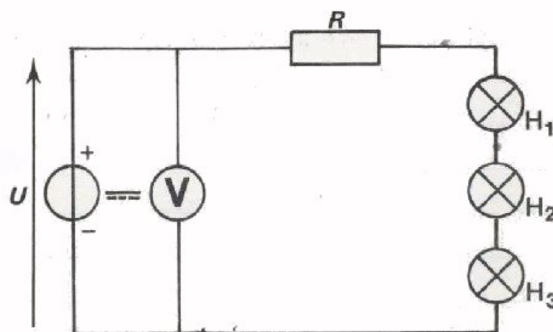
$$R_1 : R_2 : R_3 = 1 : 1{,}2 : 1{,}5$$
$$= 10 : 12 : 15$$

Ga na of de deelspanningen ook deze verhouding hebben.

PRAKTISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DE SERIESCHAKELING

OPDRACHT

- Bouw deze schakeling op het oefenpaneel. H_1, H_2 en H_3, elk 6 V/0,05 A. R = 120 Ω, 1 W.
- Stel de spanningsbron in op 18 V.



- Meet met dezelfde voltmeter de spanning over R, H_1, H_2 en H_3.

U meet:

over R	
over H_1	
over H_2	
over H_3	
+	
Tel op: U_{tot} =	

Is de som van de deelspanningen inderdaad gelijk aan de totale spanning?

- Draai lampje H_1 los. Ook de andere lampjes gaan uit. De serieschakeling is onderbroken, zodat er geen stroom meer loopt. Meet nu – nog steeds met losgeschroefd lampje H_1 – de spanningen over R, de fitting van H_1, H_2 en H_3.

U vindt:

over R	
over de fitting van H_1	
over H_2	
over H_3	
+	
Tel op: U_{tot} =	

Begrijpt u het gevonden resultaat? Geef in een paar woorden de verklaring:

____

____

____

- Draai lampje H_1 weer vast. Sluit H_1 kort door middel van een snoertje. U merkt, dat H_1 uitgaat, maar dat H_2 en H_3 blijven branden. Geef hieronder in een paar woorden de verklaring van dit verschijnsel:

- Meet - nog steeds met kortgesloten lampje H_1 - de spanningen over:

R	
kortgesloten H_1	
H_2	
H_3	
	+
Tel op: U_{tot} =	

- Let eens op de verdeling van de vier spanningen die we nu gemeten hebben.

- Streep in volgende bewering de onjuiste antwoorden door.

  Na korsluiting van H_1 branden H_2 en H_3 zwakker/feller

  Dit komt, omdat I is toegenomen/afgenomen

  De oorzaak van het veranderen van I is dat de vervangingsweerstand R_s van de schakeling is toegenomen/afgenomen

CONCLUSIES

Als men een serieschakeling van componenten op een spanning aansluit, zal bij een onderbreking in één component niet alleen door déze component geen stroom meer lopen, maar ook door alle andere loopt geen stroom meer.

Praktijkvoorbeeld.

Als bij een kerstboomverlichting met een aantal in serie staande lampjes één lampje kapot gaat, gaan alle lampjes uit. De totale aangesloten spanning komt dan over de fitting van het defecte lampje te staan.

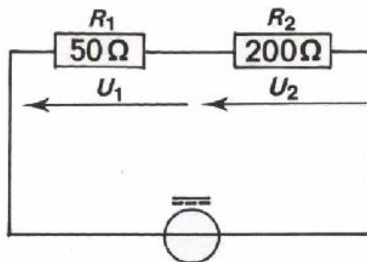
Als door een serieschakeling van componenten een stroom loopt, zal door het kortsluiten van één component een - grotere - stroom door de andere componenten blijven lopen.

Praktijkvoorbeeld.

Als men bij een kerstboomverlichting met een aantal in serie staande lampjes één lampje kortsluit, blijven de andere lampjes - iets feller - branden.
Als er bijvoorbeeld 180 V op 6 lampjes wordt aangesloten, is de spanning per lampje $\frac{1}{6}$ x 180 V = 30 V.
Wordt een lampje kortgesloten, dan is voor de 5 overige de spanning per lampje $\frac{1}{5}$ x 180 V = 36 V en dus groter.

OEFENINGEN

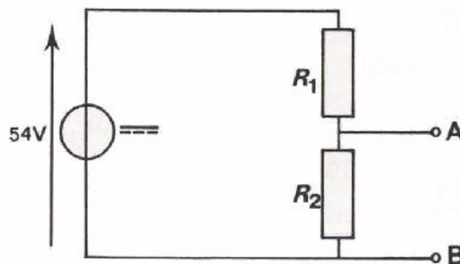
1.



In deze schakeling is de verhouding van de spanningen:

$\frac{U_1}{U_2}$ =	$\frac{1}{5}$	O
	$\frac{1}{4}$	O
	$\frac{4}{1}$	O
	$\frac{5}{1}$	O

2. Men wil in deze schakeling tussen A en B een spanning van 25 V afnemen. R_1 = 150 Ω.



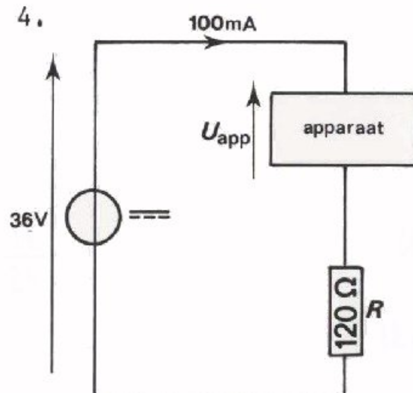
R_2 moet dan zijn:

187,5 Ω	O
150 Ω	O
130 Ω	O
100 Ω	O

3. Voor een feestverlichting gebruikt men lampjes van 12 V. De netspanning bedraagt 220 V. Het aantal lampjes dat men in serie zal zetten is:

10	O
20	O
30	O
40	O

4.

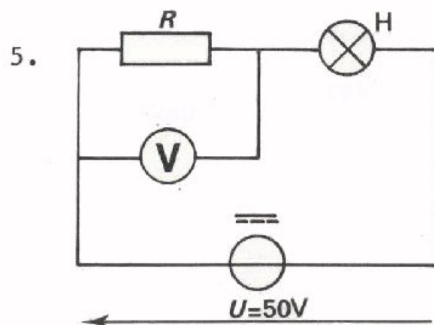


Een apparaat is via een weerstand R aangesloten op een voedingsbron. Er loopt een stroom van 100 mA.

De spanning op het apparaat U_{app} bedraagt:

meer dan 20 V	O
precies 20 V	O
precies 12 V	O
precies 6 V	O

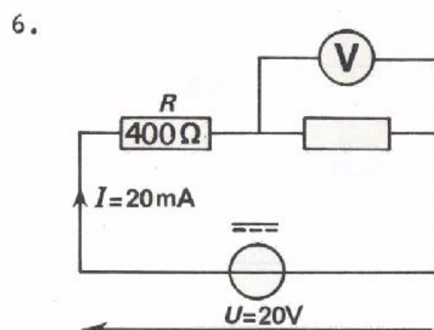
5.



In deze schakeling brand het lampje H. De voltmeter wijst 40 V aan. Als het lampje is doorgebrand, dan wijst de voltmeter aan:

50 V	O
40 V	O
10 V	O
0 V	O

6.



De voltmeter wijst aan:

0 V	O
8 V	O
10 V	O
12 V	O

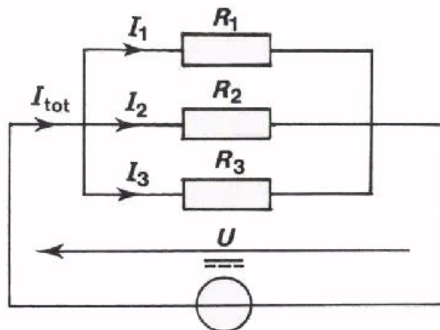
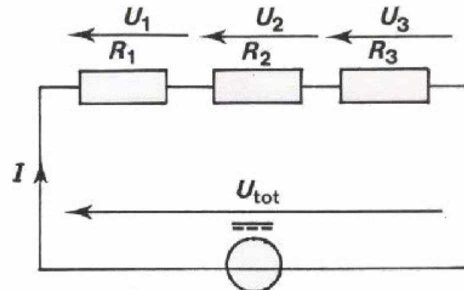
7. Iemand komt op het idee twee gloeilampen (110 V/1 A) in serie aan te sluiten op een netspanning van 220 V. Welke uitspraak is juist?

Beide lampen gaan onmiddellijk stuk	O
Beide lampen branden zeer zwak.	O
Beide lampen branden normaal.	O
De zekering van de installatie smelt door.	O

8. In een elektrische kachel bevinden zich twee gelijke weerstandselementen, die men in serie of parallel kan schakelen. Als men de elementen parallel schakelt, zal bij aansluiting op de netspanning:

de kachel 2x zoveel stroom afnemen als in geval van serieschakeling.	O
de kachel evenveel stroom afnemen als in geval van serieschakeling.	O
de kachel 4x zoveel stroom afnemen als in geval van serieschakeling.	O
de kachel het net minder sterk belasten dan in geval van serieschakeling.	O

SAMENVATTENDE VERGELIJKING VAN PARALLEL- EN SERIESCHAKELING VAN WEERSTANDEN

PARALLEL	SERIE
	
• Over elke R staat dezelfde spanning.	• Door elke R gaat dezelfde stroom.
• De totaal toegevoerde stroom is gelijk aan de som van de deelstromen.	• De totaal toegevoerde spanning is gelijk aan de som van de deelspanningen.
$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3$	$U_{tot} = U_1 + U_2 + U_3$
• De deelstromen verhouden zich als de omgekeerde waarden van de weerstanden.	• De deelspanningen verhouden zich als de weerstanden.
$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$	$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$
• Voor de vervangingsweerstand geldt:	• Voor de vervangingsweerstand geldt:
$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$	$R_s = R_1 + R_2 + R_3$
• De vervangingsweerstand is kleiner dan de kleinste weerstand.	• De vervangingsweerstand is groter dan de grootste weerstand.
• Wordt één van de weerstanden onderbroken, dan blijft er stroom lopen door de andere.	• Wordt één van de weerstanden onderbroken, dan loopt er door geen van de weerstanden nog stroom.
• Wordt één weerstand kortgesloten, dan loopt er (bijna) geen stroom meer door de andere.	• Wordt één weerstand kortgesloten, dan blijft door de andere stroom lopen.

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

1. Vier gelijke weerstanden staan in serie. De totale weerstand bedraagt 1 kΩ. De waarde van elk van die weerstanden bedraagt:

2. Twee weerstanden R_1 en R_2 staan in serie. De totale spanning over de serieschakeling is 24 V. Over R_1 staat 10 V. Over R_2 staat dan:

3. Men wil 10 lampen van 18 V/2 A in serie aansluiten op 220 V. Men zet dan een weerstand met deze lampen in serie, zodat I = 2 A. De grootte van deze weerstand moet zijn:

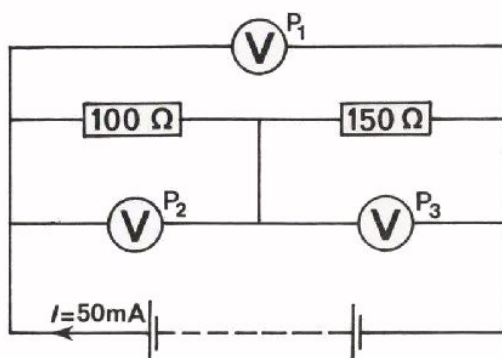
4. Drie gelijke weerstanden staan parallel. De vervangingsweerstand is 3k3. Als men deze weerstanden in serie zet, dan is de totale weerstand:

5. Een weerstand met een kleurcode: oranje - wit - geel staat in serie met een weerstand met een kleurcode: grijs - rood - oranje. Door de schakeling gaat een stroom van 10 µA. De spanningen over deze weerstanden zijn:

   en

6. Twee metalen draden met dezelfde doorsnede zijn in serie geschakeld. De ene draad is 10 m lang en heeft een soortelijke weerstand $\rho = 2.10^{-3}$. De andere draad is 50 m lang en heeft een soortelijke weerstand $\rho = 4.10^{-4}$. De verhouding van de spanningen over deze draden is:

7.



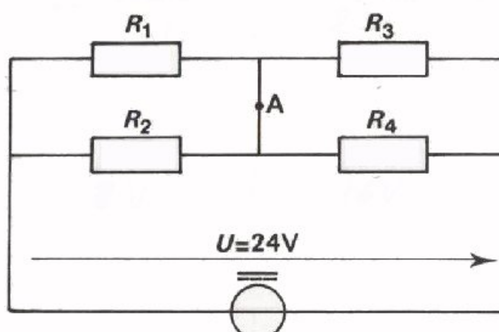
In deze schakeling is de aanwijzing

van P_1: [ ]

van P_2: [ ]

van P_3: [ ]

8.



In deze schakeling: R_1 = 200 Ω

R_2 = 300 Ω

R_3 = 400 Ω

R_4 = 600 Ω

De spanning over de weerstand R_1 = [ ]

over R_2 = [ ]

over R_3 = [ ]

over R_4 = [ ]

Veranderen deze spanningen als de doorverbinding bij A wordt onderbroken?

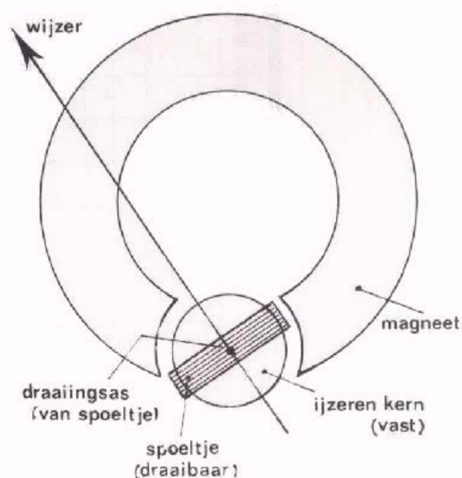
ja/nee

A 14 HET METEN VAN GELIJKSTROMEN EN -SPANNINGEN

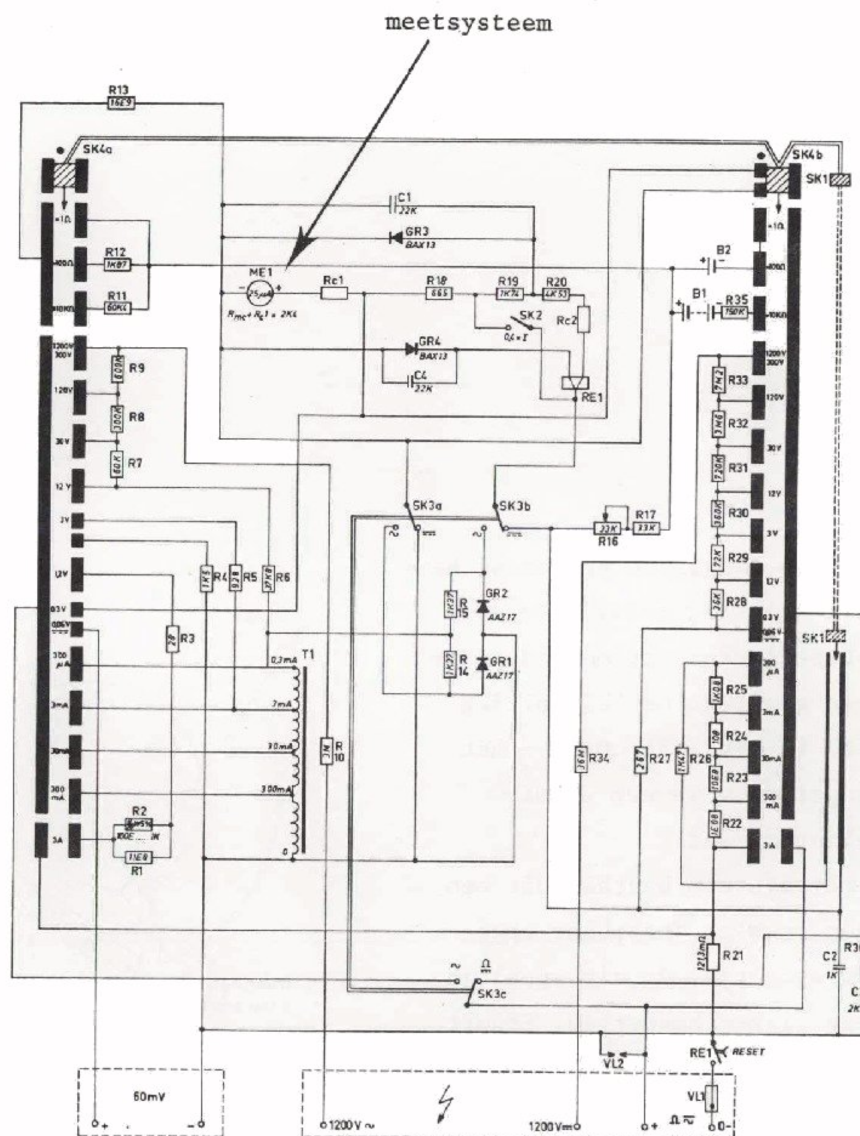
HET MEETSYSTEEM

In het voorafgaande hebben we herhaaldelijk door middel van een universeelmeter stromen en spanningen gemeten. De "eigenlijke meter" in dit instrument - het *meetsysteem* - is een draaispoelinstrument.

Dit meetsysteem bestaat uit een in een magneet draaibaar opgesteld spoeltje. Op dit spoeltje is een wijzer bevestigd. Stuurt men een stroom door het spoeltje dan gaat dit draaien en de wijzer draait mee. Als men de stroom groter maakt, dan is de draaiing van het spoeltje groter, zodat de wijzer meer uitslaat.



Door het meetsysteem te combineren met passende schakelingen van weerstanden blijkt het mogelijk zeer uiteenlopende stromen en spanningen te meten. Hieronder kunt u aan de hand van een schema van een universeelmeter een indruk krijgen van de schakelingen die zich binnen zo'n meter bevinden.



Als men het meetsysteem afzonderlijk gebruikt om stroom te meten, zal de meter reeds bij een klein stroompje vol uitslaan. Bij het door ons gebruikte instrument verkrijgen we volle uitslag van de wijzer als er een stroompje van 25 μA door het spoeltje loopt.

Het spoeltje van het draaispoelinstrument bestaat uit een groot aantal windingen van zeer dun geïsoleerd koperdraad. Dit spoeltje heeft dan ook een vrij aanzienlijke weerstand. Bij ons instrument is deze weerstand 2400 Ω.

Men kan op het instrument ook een spanning zetten. Hoe groot deze spanning moet zijn om volle wijzer-uitslag te verkrijgen, kunnen we met behulp van de wet van Ohm uitrekenen.

Immers: weerstand van het meetsysteem: $R_p = 2400\ \Omega$,
stroom voor volle uitslag: $I = 25\ \mu A$,
dus spanning voor volle uitslag:

$$U = R_p I = 2400 . 25 . 10^{-6}\ V$$
0,06V $= 60$ mV.

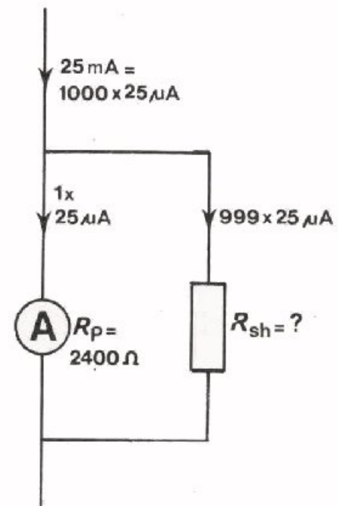
CONCLUSIE

Het "meetsysteem alleen" van een universeelmeter is te gebruiken voor het meten van zeer kleine stromen of zeer kleine spanningen.

In het volgende zullen we zien op welke wijze we het ook voor grotere stromen en grotere spanningen geschikt kunnen maken.

DE STROOMMETER

We hebben een draaispoelmeetsysteem waarmee we stromen tot 25 µA kunnen meten. Kunnen we hiermee nu ook een stroom meten van b.v. 25 mA? Natuurlijk niet zonder meer. We passen de volgende truc toe. Parallel aan het meetsysteem zetten we een weerstand en we zorgen ervoor dat het "teveel" aan stroom door deze weerstand zal vloeien.
In dit geval is de te meten stroom:
1000 x 25 µA = 25 mA.
Door het systeem gaat: 25 µA.
Door de parallel geschakelde weerstand moet dus: 999 x 25 µA vloeien.



De vakterm voor zo'n parallel geschakelde weerstand is shunt-weerstand, kortweg - *shunt* - spreek uit: "sjunt".

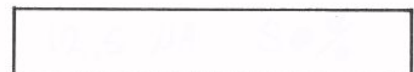
Hoe groot moet in ons geval deze shunt zijn? De weerstand van het meetsysteem is R_p = 2400 Ω. De stroom door de shunt moet 999 maal zo groot zijn als die door het systeem, zodat de weerstand R_{sh} van de shunt 999 maal zo klein moet zijn. Dus $R_{sh} = \frac{1}{999} \times 2400\ \Omega \approx 2{,}4\ \Omega$.

De *inwendige weerstand* R_i van de gehele stroommeter - meetsysteem plus shunt - is gelijk aan de parallelschakeling van R_p en R_{sh}. Praktisch is deze R_i vrijwel gelijk aan R_{sh} en over het algemeen zeer klein. Zie bovenstaand rekenvoorbeeld.

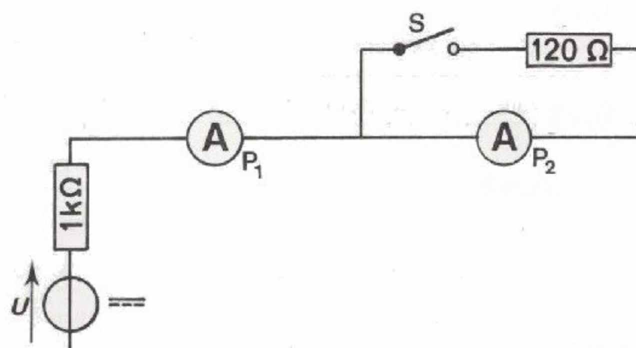
Bij een universeelmeter heeft men een aantal stroombereiken. In de meter bevindt zich voor elk stroombereik een andere, geschikt gekozen shunt. Schakelt men over op een hoger stroombereik, dan wordt een kleinere shuntweerstand ingeschakeld. Tevens wordt de inwendige weerstand R_i van de gehele stroommeter dan kleiner.

Vraag.

Hoe groot is de wijzeruitslag van de meter uit bovenstaande figuur, als men een stroom meet van 12,5 mA?



OPDRACHT: HET VERGROTEN VAN HET STROOMBEREIK



- Bouw deze schakeling op het oefenpaneel. Gebruik voor P_1 een elektronische universeelmeter en voor P_2 een gewone universeelmeter.
- Stel P_1 en P_2 in op het bereik 3 mA (stand ═══).
- Open S en voer voorzichtig de spanning op totdat P_2 3 mA aanwijst.

P_1 wijst nu aan: [ ]

We nemen aan dat P_2 de juiste stroom aanwijst; P_1 kan hier enigszins van afwijken.

- De inwendige weerstand R_i van P_2 in de 3 mA-stand is ca. 120 Ω. Bereken welke stroom P_2 zal aanwijzen als u de schakelaar S sluit, (zie A14.4).

P_2 zal aanwijzen: [ ]

- Sluit S en houd daarbij P_1 in de gaten! U merkt dat de uitslag van P_1:

toeneemt/afneemt/niet verandert

Hoe komt dit?

- Regel de spanning *U* zó, dat P_1 dezelfde aanwijzing geeft als vóór het sluiten van S. Lees de aanwijzing van P_2 af.

P_2 wijst aan: [ ]

Klopt dit met de berekende waarde?

- Houd S gesloten. Schakel P_1 om van de 3 mA- naar de 30 mA-stand en let daarbij op de uitslag van P_2.

  U ziet dat de uitslag van P_2

iets toeneemt/iets afneemt/niet verandert

  Blijkbaar is de R_i van P_1 in de 30 mA-stand **groter/kleiner** dan in de 3 mA-stand.

- Laat de spanning U toenemen totdat P_2 weer 3 mA aanwijst. De totale stroom die wordt aangewezen door P_1 is het nieuwe meetbereik van P_2.

  Dit is nu: [ ]

CONCLUSIE:

Door het aanbrengen van de *shunt* over de meter P_2 is het meetbereik van die meter vergroot van [mA tot mA]

OEFENING

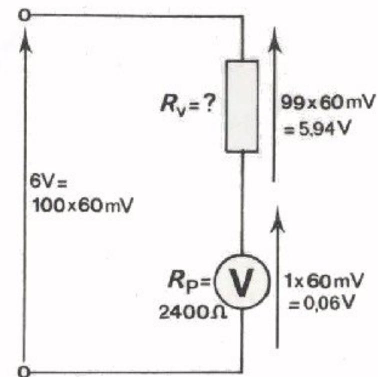
Men heeft een stroommeter met R_p = 2000 Ω. Bij volle uitslag is de stroom door de meter 50 μA. Men wil met deze meter stromen meten tot 100 mA. Bereken R_{sh}, (zie blad A14.4).

R_{sh} = [ ]

DE SPANNINGSMETER

De wijzer van een draaispoelmeetsysteem slaat uit als men er kleine stromen door stuurt. We hebben gezien, dat zo'n systeem ook geschikt is om kleine spanningen te meten. Kunnen we nu met een dergelijk systeem ook grotere spanningen meten? Dit kan inderdaad, door er een weerstand mee in serie te schakelen.

Laten we weer eens uitgaan van het meetsysteem met R_m = 2400 Ω en bij volle wijzeruitslag een stroom van 25 µA.
We hebben berekend dat hiermee ook spanningen tot 60 mV gemeten kunnen worden. Hoe meten we nu spanningen tot 6 V?
Er wordt 6 V = 100 x 60 mV toegevoerd. We moeten er dus voor zorgen dat hiervan slechts 1 x 60 mV over het meetsysteem komt staan. De overige 99 x 60 mV moet over de weerstand R_v komen. De vakterm voor zo'n weerstand in serie met een meetsysteem is *voorschakelweerstand.*



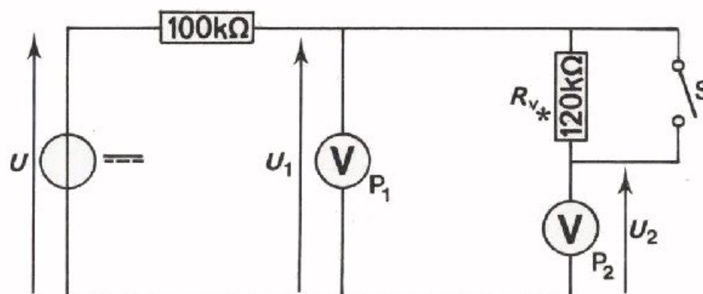
Hoe groot moet de voorschakelweerstand in dit geval zijn? De weerstand van het meetsysteem R_p = 2400 Ω. De spanning over de voorschakelweerstand moet 99 maal zo groot zijn als die over het meetsysteem, zodat de weerstand R_v ook 99 maal zo groot moet zijn. De waarde van R_v is dus 99 x 2400 Ω = 237,6 kΩ ≈ 240 kΩ.

De *inwendige weerstand* R_i van de gehele spanningsmeter - meetsysteem plus voorschakelweerstand - is gelijk aan de vervangingsweerstand van de serieschakeling van $R_p + R_v$.
Praktisch is deze R_i vrijwel gelijk aan R_v en over het algemeen zeer groot. Zie bovenstaand rekenvoorbeeld.

Bij een universeelmeter heeft men een aantal spanningsbereiken. In de meter bevindt zich voor elk spanningsbereik een andere, geschikt gekozen voorschakelweerstand. Schakelt men over op een hoger spanningsbereik, dan wordt een grotere voorschakelweerstand ingeschakeld. Tevens wordt dan de inwendige weerstand R_i van de spanningsmeter hoger.

Vraag.
Hoever slaat de wijzer van de voltmeter van bovenstaande figuur uit, als men een spanning meet van 4 V?

OPDRACHT: HET VERGROTEN VAN HET SPANNINGSBEREIK



- Bouw deze schakeling op het oefenpaneel. Neem voor P_1 een elektronische universeelmeter en voor P_2 een gewone universeelmeter.
- Sluit de schakelaar S. Stel beide meters in op een bereik van 3 V (stand ⎓).
- Voer voorzichtig een spanning toe totdat P_2 3 V aanwijst.

  P_1 wijst nu aan: [ ]

  We nemen aan dat P_2 de juiste waarde van de spanning aanwijst; P_1 kan hier enigszins van afwijken.
- De inwendige weerstand R_i van P_2 in de 3 V-stand is 120 kΩ. Bereken de spanning die P_2, zal aanwijzen als men de schakelaar S opent en U_1 daarbij constant gehouden wordt. (zie blad A14.7).

  P_2 zal aanwijzen: [ ]
- Open de schakelaar S. Regel de spanning U zó, dat P_1 dezelfde aanwijzing geeft als vóór het openen van S. Lees de aanwijzing van P_2 af.

  P_2 wijst aan: [ ]

  Klopt dit met de berekende waarde?

* Opmerking:
Neem voor R_v: 100 kΩ + 10 kΩ + 10 kΩ.

- Houd schakelaar S open. Schakel P_1 om van de 3 V- naar de 10 V-stand en let daarbij op de uitslag van P_2. U ziet de uitslag van P_2

iets toenemen / iets afnemen / niet veranderen

Blijkbaar is de R_i van P_1 in de 10 V-stand | groter / kleiner | dan in de 3 V-stand.

- Voer de spanning U op totdat P_2 weer 3 V aanwijst. De totale spanning U_1 die wordt aangewezen door P_1 is het nieuwe meetbereik van P_2.

Dit is nu: [ ]

CONCLUSIE:

Door het aanbrengen van de *voorschakelweerstand* in serie met de meter P_2 is het meetbereik van die meter vergroot van [V tot V]

OEFENING

Men heeft een spanningsmeter met R_p = 2000 Ω. Bij volle uitslag is de spanning over de meter 50 mV. Men wil met deze meter spanningen meten tot 200 V. Bereken de voorschakelweerstand R_v, (zie blad A14.7).

R_v = [ ]

HET AANTAL OHM PER VOLT

We hebben gezien dat een voltmeter een inwendige weerstand R_i heeft. Bovendien hebben we ervaren dat deze R_i van belang is bij het meten. We weten dat men het meetbereik van een voltmeter b.v. 10 maal zo groot kan maken door een 9 maal zo grote weerstand met het meetsysteem in serie te schakelen. Dit betekent tevens dat de inwendige weerstand R_i van de meter 10 maal zo groot wordt. Maakt men het meetbereik 100 maal zo groot, dan wordt ook R_i 100 maal zo groot, enz.

Met andere woorden, de R_i en het meetbereik hebben een constante verhouding. Weet men dus de R_i voor één meetbereik, dan volgen daaruit de waarden van R_i voor alle andere meetbereiken. Nu is het *niet* de gewoonte R_i voor een bepaald meetbereik op te geven, maar *wel* de verhouding van de R_i tot "het meetbereik". Deze verhouding is altijd constant. Voor de PM2411 geldt

$$\frac{R_i}{\text{meetbereik}} = 40\,000 \text{ ohm per volt } (\Omega/\text{V}).$$

Dit staat op de meter aangegeven.
Kunt u het vinden?

Voor dit instrument geldt dus:

meetbereik	R_i
3 V	3 x 40 000 Ω = 120 kΩ
30 V	30 x 40 000 Ω = 1200 kΩ.

Vul nu verder zelf in:

meetbereik 12 V R_i =

meetbereik 300 V R_i =

meetbereik 1200 V R_i =

LET OP!

Een meter met 20 000 Ω/V staat op het 12 V-bereik en wijst 8 V aan. Dikwijls denkt men dan dat de inwendige weerstand van de meter gelijk is aan:

8 x 20 000 Ω.

Dit is *fout*. Men moet niet met de aanwijzing (wijzeruitslag) maar met het "meetbereik" vermenigvuldigen, dus:

12 x 20 000 = 240 kΩ.

OPMERKING:

Het aantal ohms per volt van een spanningsmeter geeft ook de *gevoeligheid* van het draaispoelsysteem aan. Uit 40 000 Ω/V kan met de wet van Ohm ($\frac{R}{U} = \frac{1}{I} \rightarrow \frac{U}{R} = I$) worden berekend dat voor volle wijzeruitslag de stroom door het meetsysteem $\frac{1}{40\ 000}$ (V/Ω) = 25 µA moet zijn. Zo is bij een meetsysteem met een gevoeligheid van 1000 Ω/V de benodigde meterstroom voor volle wijzeruitslag 1 mA.

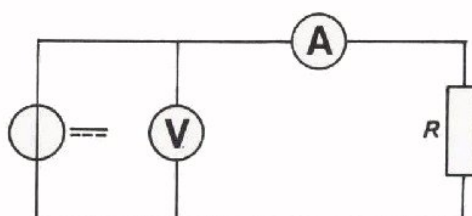
CONCLUSIE:

Hoe hoger het aantal Ω/V is, dēs te kleiner is de stroom, die nodig is om volle wijzeruitslag te verkrijgen, dus des te gevoeliger is de meter.
Hoe groter de gevoeligheid (Ω/V) is, hoe minder de meter de meetschakeling beïnvloedt.

FOUTEN BIJ HET METEN

Bij het meten kan de inwendige weerstand van stroom- zowel als spanningsmeters moeilijkheden veroorzaken.

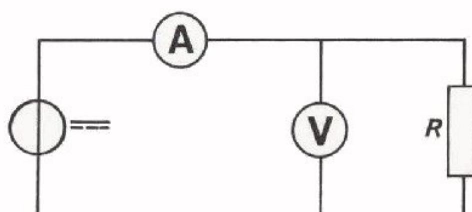
Veronderstel dat men tegelijkertijd de stroom door een weerstand en de spanning over deze weerstand wil meten. Men kan dan de volgende schakeling bouwen:



Schakeling I

De stroommeter meet hier de stroom door de weerstand *R*. Deze stroom wordt geheel juist gemeten. De spanning echter meet men niet goed. De voltmeter wijst de spanning aan over de serieschakeling van de weerstand *R* en de inwendige weerstand van de stroommeter. De spanningsmeter wijst dus meer aan dan alleen de spanning over de weerstand.

Men kan op het idee komen om de voltmeter te verplaatsen, zodat de volgende schakeling ontstaat:



Schakeling II

Men meet nu de werkelijke spanning over de weerstand *R*. Nu wordt echter de stroom niet goed gemeten. De stroommeter wijst de stroom aan door de weerstand *R* en bovendien die door de voltmeter. De stroommeter wijst dus meer aan dan alleen de stroom door *R*.

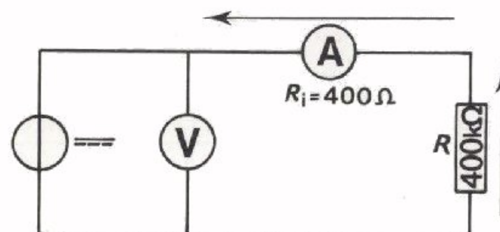
De conclusie is, dat - wat men ook verzint - de stroom en de spanning niet tegelijk foutloos gemeten kunnen worden.

Nu zou men kunnen denken: "Het doet er niet toe welke van de twee schakelingen ik gebruik, want ik maak toch altijd een fout". Dit blijkt niet zo te zijn. Het doet er wel degelijk toe! We maken altijd een fout, maar door een juiste meetschakeling te kiezen kunnen we deze fout zo klein mogelijk houden.

- Voorbeeld.

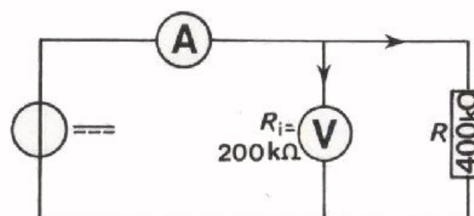
  Stroom- en spanningsmeting bij een weerstand van 400 kΩ.

  We beschikken over een spanningsmeter met R_i = 200 kΩ en een stroommeter met R_i = 400 Ω. Met behulp van deze meters gaan we meten aan een weerstand R van 400 kΩ. We kiezen eerst schakeling I:



Over de stroommeting behoeven we ons geen zorgen te maken. Deze is geheel juist; de stroommeter wijst de stroom door R aan. De spanningsmeting is niet geheel correct, want we meten de spanning over de serieschakeling van R = 400 kΩ en de inwendige weerstand van de stroommeter R_i = 400 Ω. De spanningen over R_i en R verhouden zich als 1 : 1000. We meten de spanning dus $\frac{1}{1000}$ of 0,1% te hoog.

Daarna kiezen we schakeling II:

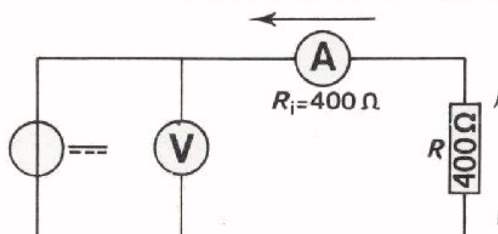


Hier is de spanningsmeting geheel juist, maar de stroommeting niet. De stroommeter meet de stroom door de R van 400 kΩ plus die door de inwendige weerstand R_i van de spanningsmeter. Met deze schakeling meten we een stroom die driemaal zo groot is als de stroom door de weerstand R die we willen meten, of wel een stroom die 200% te hoog is.
De fout is dus 2000 x zo groot als bij schakeling I! Ga dit na.

• Voorbeeld.

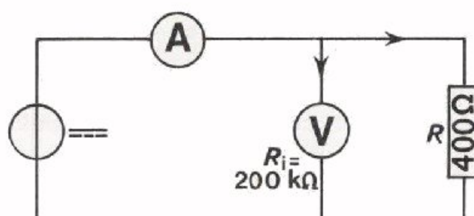
Stroom- en spanningsmeting bij een weerstand van 400 Ω.

Met behulp van dezelfde meters als in het vorige voorbeeld gaan we nu meten aan een veel kleinere weerstand. We kiezen eerst schakeling I:



De stroommeting is juist. De voltmeter wijst een te hoge spanning aan. Over de stroommeter (400 Ω) en de weerstand R (400 Ω) staat een even grote spanning. De aanwijzing van de spanningsmeter is dus tweemaal zo groot als de spanning over de weerstand R die we willen meten, en dus 100% te hoog.

We kiezen vervolgens schakeling II:



De stroommeting is niet helemaal correct, want de stroommeter wijst de stroom aan door de R plus die door de voltmeter. De inwendige weerstand van de voltmeter is echter 500 maal zo groot als de weerstand R. We meten dus een stroom die slechts $\frac{1}{500}$ of 0,2% te groot is.
De fout is nu 500 x zo klein als bij schakeling I.
Ga dit na.

Uit deze twee voorbeelden blijkt dat het wel degelijk van belang is welke schakeling men kiest. Bij het eerste voorbeeld met een hoge weerstand R verdiende schakeling I duidelijk de voorkeur en in het tweede voorbeeld met een kleine weerstand R was schakeling II veel beter.

In het algemeen is het zó, dat bij spanningsmeting de inwendige weerstand van de spanningsmeter zeer groot moet zijn ten opzichte van de weerstand waarover men de spanning wil meten.
Bij stroommeting moet de weerstand van de stroommeter zeer klein zijn ten opzichte van de weerstand waardoor men de stroom wil meten.

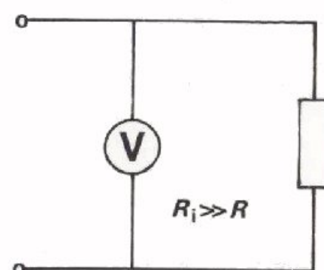
HOE VERMIJDEN WE FOUTEN BIJ HET METEN?

Bij het meten van stromen en spanningen maken we altijd fouten doordat de inwendige weerstand van een meetinstrument invloed uitoefent op de schakeling.

Men moet proberen deze fouten zo klein mogelijk te houden. Een eerste middel om fouten klein te houden is het gebruik van goede meters.

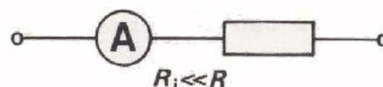
- Een *goede spanningsmeter* is een meter met een *hoge inwendige weerstand.*

  Een spanningsmeter zet men altijd parallel aan de weerstand R waarover men de spanning moet meten.
  Als de inwendige weerstand R_i van de meter groot is t.o.v. R, dan is de vervangingsweerstand van R_i en R nagenoeg gelijk aan R.



- Een *goede stroommeter* is een meter met een *lage inwendige weerstand.*

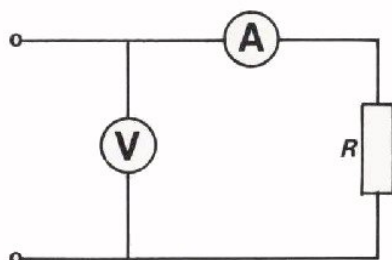
  Een stroommeter zet men altijd in serie met de weerstand R waardoor men de stroom moet meten.
  Als de inwendige weerstand R_i van de meter klein is t.o.v. R, dan is de vervangingsweerstand van R_i en R nagenoeg gelijk aan R.

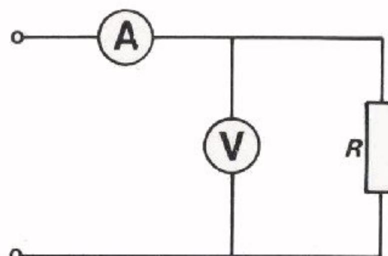


Men spreekt wel van ideale meters. Laten we vooropstellen dat deze niet bestaan. Wat bedoelt men dan met een ideale meter?

Een *ideale stroommeter* heeft een inwendige weerstand gelijk aan "nul". Een dergelijke meter veroorzaakt geen meetfouten.
Een *ideale spanningsmeter* is een meter met een inwendige weerstand die "oneindig groot" is. Een dergelijke meter veroorzaakt ook geen meetfouten.

Een tweede middel om fouten te vermijden is het kiezen van een juiste meetschakeling. Hieronder staan als voorbeeld schakelingen die dienen om spanning en stroom van een weerstand tegelijkertijd te meten.





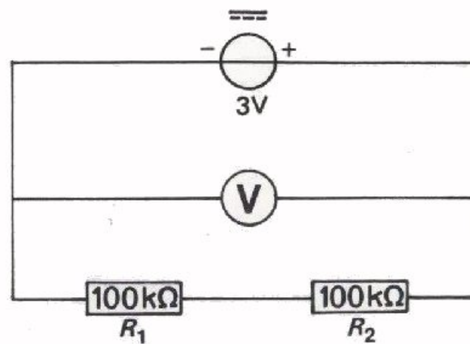
Hier meet men de *spanning* niet geheel juist. Deze opstelling zal men kiezen voor het meten van hoge weerstanden.

De spanning over de stroommeter is dan te verwaarlozen klein.

Hier meet men de *stroom* niet geheel juist. Deze opstelling zal men kiezen voor het meten van lage weerstanden.

De stroom door de voltmeter is dan te verwaarlozen klein.

OPDRACHT



- Bouw deze schakeling op het oefenpaneel. Gebruik als spanningsmeter een instrument van 40 000 Ω/V (b.v. PM2411).

- Voer de spanning van de voedingsbron op totdat de spanningsmeter in het 3 V-bereik volle uitslag geeft.

- Meet met dezelfde spanningsmeter de spanning over R_1. U vindt:

U_{R_1} =

- Meet met dezelfde spanningsmeter de spanning over R_2. U vindt:

U_{R_2} =

- Tel de beide laatste spanningen op. U vindt:

$U_{R_1} + U_{R_2}$ =

- De spanning over de serieschakeling van R_1 en R_2 hebt u ingesteld op 3 V. R_1 en R_2 zijn aan elkaar gelijk, zodat u zou verwachten dat u over elk van de weerstanden een spanning van 1,5 V zou meten. Dit blijkt niet zo te zijn. Geef hieronder met enkele woorden een verklaring.

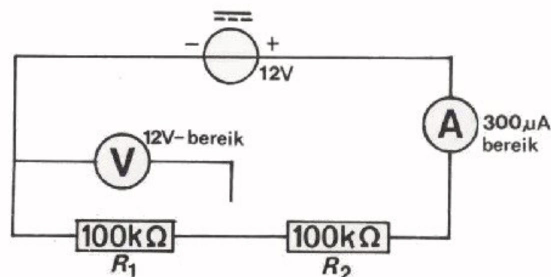
- Stel nu met behulp van de spanningsmeter de spanning over de serieschakeling van R_1 en R_2 in op 10 V.

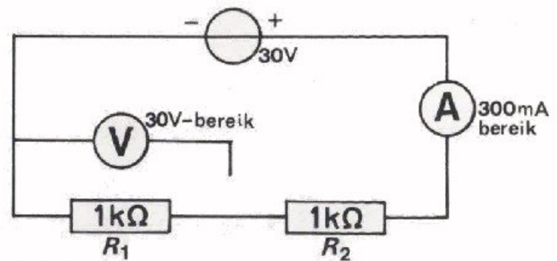
- Meet weer de spanning over R_1: U_{R_1} =

- Meet weer de spanning over R_2: U_{R_2} =

- Vergelijk de som van deze twee spanningen met de totale spanning van 12 V. Wat merkt u? Geef met enkele woorden een verklaring:

- De invloed van de spanningsmeter op de schakeling kunt u zichtbaar maken door een stroommeter in de schakeling op te nemen (b.v. PM2400). Stel de in totaal toegevoerde spanning weer in op 3 V. Sluit de spanningsmeter aan over R_1. Maak deze spanningsmeter enige malen vast en weer los. Let daarbij op de stroommeter. Wat bemerkt u? Geef met enige woorden een verklaring van wat u ziet:





- Bouw tenslotte nevenstaande serieschakeling van twee weerstanden van 1 kΩ op het paneel.

- Stel de in totaal toegevoerde spanning over de serieschakeling met behulp van de spanningsmeter in op 30 V.
- Meet met dezelfde spanningsmeter de spanning over R_1. Maak de spanningsmeter weer enige malen los en vast en let daarbij op de stroommeter.

U meet over R_1: ______

en over R_2: ______

- Wat constateert u bij deze metingen? Geef hieronder een korte verklaring:

____

____

____

SAMENVATTING

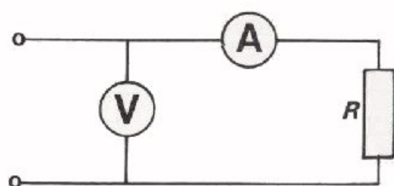
- Het meetsysteem van een universeelmeter heeft maar een kleine stroom nodig om volledige uitslag te geven, b.v. 25 μA. Het heeft een *inwendige weerstand* R_p, b.v. 2400 Ω. Uit de wet van Ohm volgt, dat voor volle uitslag van het systeem slechts een kleine spanning nodig is; bij bovengenoemde waarden: $2400 . 25 . 10^{-6} = 60$ mV.
- Door parallel aan het meetsysteem een kleine *shunt* (*weerstand*) aan te brengen kan men toch grote stromen meten.
- Door in serie met het meetsysteem een grote *voor(schakel)weerstand* aan te brengen kan men tóch hoge spanningen meten.
- Door het aanbrengen van een shunt verlaagt men de inwendige weerstand R_i van de meter.
- Door het aanbrengen van een voorschakelweerstand vergroot men de inwendige weerstand R_i van de meter.
- Bij een voltmeter bestaat een constante verhouding tussen zijn R_i en zijn spanningsbereik.

  Men geeft deze verhouding op in ohm per volt, (Ω/V).

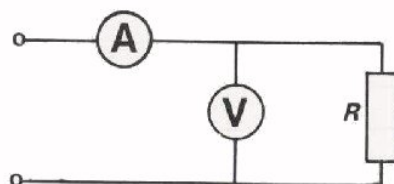
  De inwendige weerstand van een voltmeter van 20 000 Ω/V, voor het 12 V-bereik is: $R_i = 12 . 20\,000\ \Omega = 240$ kΩ.
- Een *goede* spanningsmeter heeft een *hoge* inwendige weerstand.

  Een *goede* stroommeter heeft een *lage* inwendige weerstand.

  Een *ideale* spanningsmeter heeft een oneindige inwendige weerstand en een *ideale* stroommeter heeft een inwendige weerstand nul.
- Bij het gelijktijdig meten van stroom en spanning zijn er twee schakelingen mogelijk.



In deze schakeling meet men de spanning niet geheel juist. Deze schakeling zal men gebruiken bij grote R.



In deze schakeling meet men de stroom niet geheel juist. Deze schakeling zal men gebruiken bij kleine R.

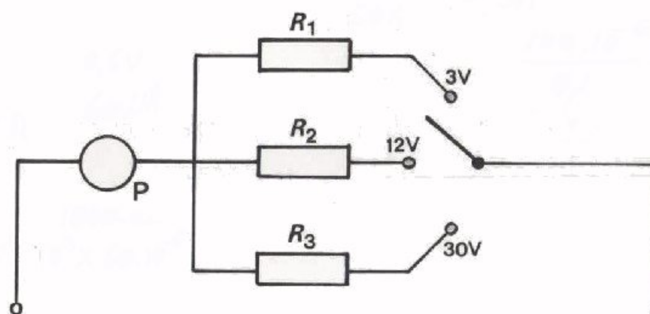
NAAM:

KLAS:

1. Op een meter staat vermeld "20 000 Ω/V". De inwendige weerstand van deze meter op het 300 V-bereik bedraagt:

2. Men bezit een draaispoelsysteem met een weerstand van 700 Ω. Dit systeem geeft volle uitslag bij een stroom van 100 μA. Met dit systeem wil men stromen meten tot 0,1 A. Hoe groot is de shuntweerstand die men moet aanbrengen?

3.



Uitgaande van een meetsysteem P met R_p = 1000 Ω en een stroom voor volle uitslag van 60 μA heeft men een voltmeter gemaakt. Met behulp van de voorschakelweerstanden R_1, R_2 en R_3 heeft men deze voltmeter de bereiken 3 V, 12 V en 30 V gegeven. Bepaal de waarden van deze weerstanden:

R_1 =

R_2 =

R_3 =

4. Met deze schakeling wil men de stroom door en de spanning over de weerstand R meten.
Meet men de spanning of meet men de stroom niet helemaal goed?

5. Meet men in deze schakeling de stroom door het lampje of de spanning over het lampje niet helemaal goed?

6. Men heeft een stroommeter met $R_i = 20\ \Omega$ en een spanningsmeter met $R_i = 500\ \mathrm{k}\Omega$.
Met behulp van deze meters moet u de stroom door en de spanning over een weerstand R van $100\ \mathrm{k}\Omega$ meten.

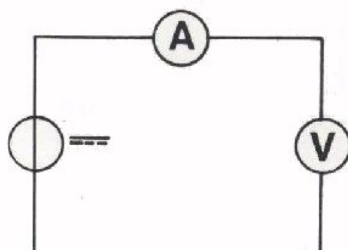
Waar bevestigt u de voltmeter in deze schakeling, bij P of bij Q?

Vertel in een paar woorden waarom u dit doet.

NAAM:

KLAS:

7\.

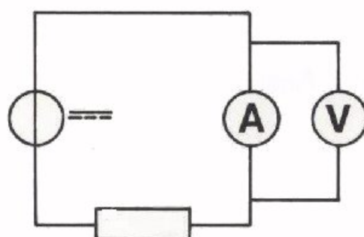


De stroommeter wijst een stroom I van 100 µA aan en de voltmeter een spanning U van 2 V.

$\frac{U}{I} = \frac{2}{0{,}0001}$ is de weerstand van

de ______ meter

8\.

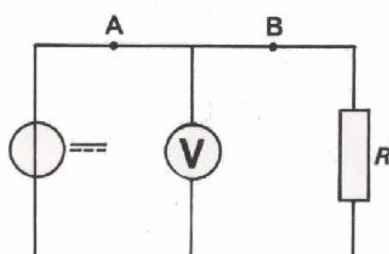


De stroommeter wijst een stroom I aan van 10 mA en de voltmeter een spanning U van 0,1 V.

$\frac{U}{I} = \frac{0{,}1}{0{,}01}$ is gelijk aan de weerstand van

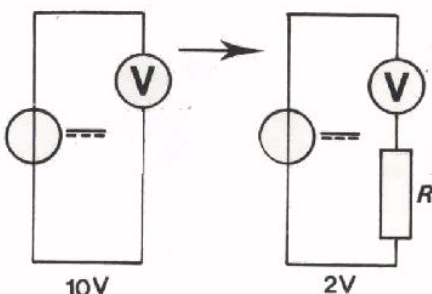
de ______ meter

9\.



Men heeft een stroommeter met een R_i van 10 Ω en een voltmeter met een R_i van 100 kΩ. Met behulp van deze meters wil men de stroom door en de spanning over R tegelijkertijd meten. Als R = 1 kΩ, waar kan men dan de stroommeter het best plaatsen, in A of in B?

10\.



Als men een voltmeter van 40 000 Ω/V in de stand "12 V" aansluit op een spanningsbron, wijst de meter 10 V aan. Schakelt men daarna een onbekende weerstand R in serie met de meter, dan wijst hij in hetzelfde meetbereik nog slechts 2 V aan. Hoe groot is R?

R =

A14.24

A 15 ARBEID, ENERGIE, VERMOGEN

We onderbreken hier de reeks onderwerpen uit de elektriciteitsleer en maken een uitstapje naar de natuurkunde. Om het volgende stuk elektriciteitsleer goed te kunnen begrijpen is het n.l. nodig eerst wat dieper in te gaan op enkele veelgebruikte natuurkundige begrippen.

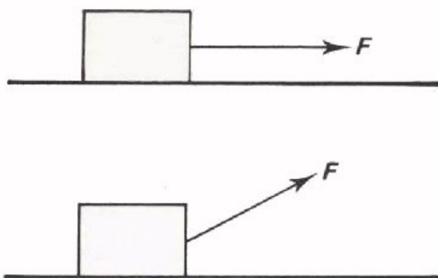
In het dagelijks leven zien wij naast volmaakte rust voortdurend bewegingen: vogels vliegen, rivieren stromen, auto's trekken op, een potlood verplaatsen we over het papier. Bij ons werk, bij sport en spel, altijd zijn we bezig dingen van plaats te laten veranderen. We brengen voorwerpen die in rust zijn in beweging, brengen bewegende voorwerpen in heftiger of minder heftige beweging en vaak ook tot stilstand.
Uit ervaring weten we dat het veranderen van de beweging van voorwerpen moeite kost. We zeggen dat het uitoefenen van een kracht, het veranderen van beweging inspanning of energie kost. Uitdrukkingen als "kracht" en "energie" nemen we in dit verband als vanzelf in de mond, maar als we er over na gaan denken blijken zij nogal vaag te zijn.

In deze les gaan we een aantal van deze begrippen eens wat precieser bekijken.

KRACHT

Op een gladde vloer staat een kist. Als we tegen deze kist duwen, gaat hij over de vloer schuiven. Om de kist te verplaatsen is een *kracht* nodig, onze spierkracht. Laten we een steen boven de grond los, dan gaat hij bewegen. De steen valt ten gevolge van de *zwaartekracht*.
Brengen we een magneet in de buurt van een stukje ijzervijlsel, dan gaat dit ijzerdeeltje bewegen onder invloed van een *magnetische kracht*. We kennen *elektrische krachten* waarmee geladen deeltjes elkaar aantrekken of afstoten. In al deze gevallen zijn er krachten werkzaam die voorwerpen in beweging brengen.

Kracht geeft men aan met de hoofdletter F. De eenheid van kracht is de newton - spreek uit "njoeton" -, afgekort N.



Men kan aan een kist in horizontale richting trekken. Men kan er een horizontale kracht F op uitoefenen.

Men kan er ook schuin een kracht F op uitoefenen.

Bij krachten is de *richting* waarin zij werkzaam zijn van belang. Men stelt een kracht daarom voor door een *pijl* in de richting waarin de kracht wordt uitgeoefend. De lengte van de pijl geeft - op schaal - de grootte van de kracht in newton aan.

Zo'n pijl, die grootte en richting aangeeft, noemt men een *vector*. We zullen ook in de wisselstroomtheorie veel te maken krijgen met grootheden die door een pijl worden voorgesteld. Men werkt in de wisselstroomtheorie veel met vectoren.

MASSA EN GEWICHT

Als we bij de slager om een kilo vlees vragen, dan weegt hij deze hoeveelheid af. We zeggen, dat we met een "gewicht van 1 kg vlees" naar huis gaan.

Wat ons interesseert bij deze hoeveelheid vlees is de hoeveelheid materie, het aantal vlees-moleculen. Hoeveelheid materie noemt men in de natuurkunde: *massa*, afgekort met een kleine letter m.

In Parijs bewaart men een platina cilindertje dat internationaal geldt als de *eenheid* van massa. Deze eenheid heet *kilogram*, kg.

In het dagelijks leven hebben we veel te maken met het *gewicht*. Wat verstaan we daaronder?

Het gewicht van een voorwerp is de kracht, waarmee de aarde aan dit voorwerp trekt. De kracht waarmee de aarde trekt noemen we *zwaartekracht*. Het gewicht van een voorwerp is dus een *kracht*!

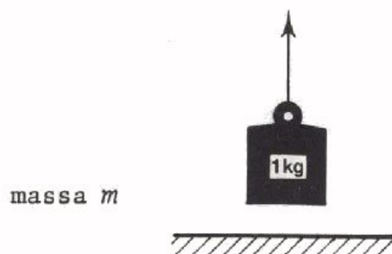
Terugkomend op het vlees van de slager: wat ons interesseert is niet zozeer "het gewicht" of "de kracht waarmee de aarde aan het stuk vlees trekt", maar wel "de massa" of "de hoeveelheid vleesmaterie".
Als we een kilo vlees meenemen is het spraakgebruik dat we een "gewicht van 1 kg" meenemen, maar men bedoelt eigenlijk dat we een "massa van 1 kg" meenemen.

Dat de massa van belang is en in mindere mate het gewicht, is in deze tijd van ruimtevaart wel duidelijk. Een massa van b.v. 10 kg is op de maan nog steeds een massa van 10 kg, maar het gewicht van deze massa is op de maan veel kleiner. Er zijn zelfs plaatsen in het heelal, zoals ergens tussen maan en aarde in, waar een massa geheel gewichtloos is.

We hebben gesteld, dat de eenheid van kracht de newton is. Ook gewicht is kracht. We moeten gewicht dus uitdrukken in newton.

Onthoud:

kracht: F = 10 N



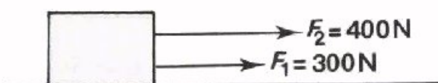
massa m

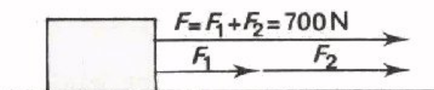
De kracht nodig om een massa van 1 kg van de aarde op te tillen is ongeveer 10 N.

Voorbeeld.

1 m^3 water heeft een massa van 1000 kg. Het gewicht van 1 m^3 water is ongeveer 1000 x 10 = 10^4 N

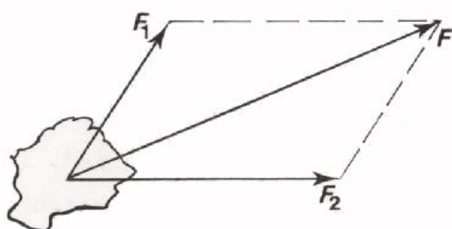
HET SAMENSTELLEN VAN KRACHTEN





Als twee mensen in dezelfde richting aan een kist trekken, de ene met een kracht F_1 van 300 N en de andere met een kracht F_2 van 400 N, dan oefenen zij samen een kracht uit van 700 N.
We kunnen de krachten vervangen door één kracht. Die vervangingskracht heet *resultante*.

Dit was een eenvoudig geval, want de krachten werkten in dezelfde richting.

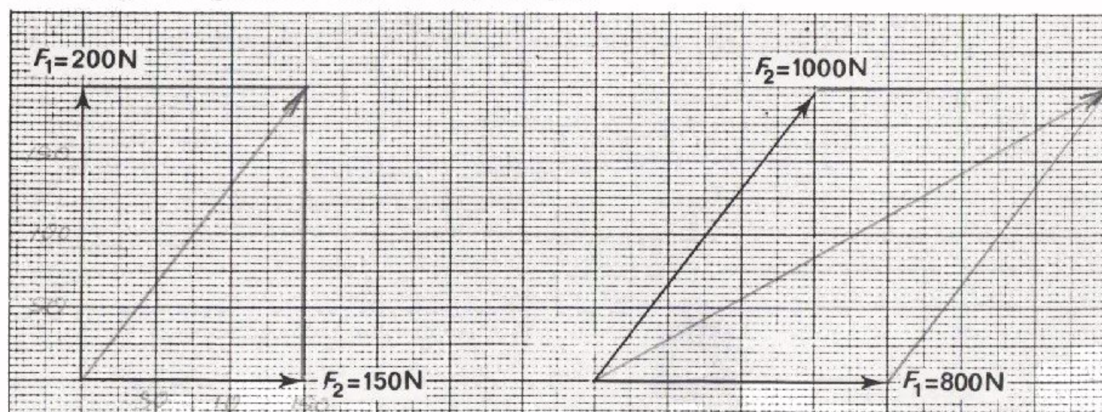


Hoe groot is de resultante nu als de twee krachten een verschillende richting hebben?

Voor de bepaling van de resultante tekenen we dan een z.g. *parallellogram van krachten*. In de figuur is de diagonaal van het parallellogram de resultante F van de krachten F_1 en F_2 die een hoek met elkaar maken.
Deze manier van doen heet *samenstellen van krachten*.

OEFENINGEN

Teken de resultante van volgende krachten en bepaal door meting met een maatlatje de grootte van de resultante.



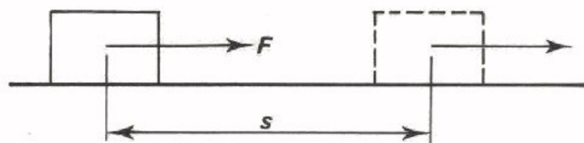
1 cm komt overeen met: N   1 cm komt overeen met N

resultante: resultante:

ARBEID

Als wij een kracht uitoefenen op een kist en deze kist verschuift onder invloed van die kracht, dan verricht deze kracht *arbeid.* De hoeveelheid arbeid die verricht wordt is afhankelijk van de grootte van de kracht en de afstand waarover de kist wordt verplaatst. Als de kracht groter is, dan is de arbeid groter en als de verplaatsing groter is, dan is de arbeid ook groter.

De arbeid is gelijk aan het produkt van "de verplaatsing" en "de kracht in de richting van de verplaatsing".



De grootheid arbeid geeft men aan met de hoofdletter W, de verplaatsing met de kleine letter s.

In formule:

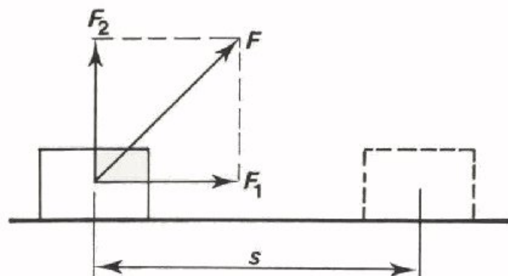
$$W = F \times s$$

W	arbeid	(Nm)
F	kracht	(N)
s	verplaatsing	(m).

De eenheid van arbeid is de "newtonmeter", Nm. Als een kracht van 1 N een verplaatsing van 1 m in zijn werkrichting veroorzaakt, wordt een arbeid van 1 Nm verricht.

Verplaatsen we een kist met een kracht van 5000 N over een afstand van 20 m, dan verrichten we een arbeid $W = 5000 \times 20 = 10^5$ Nm = 100 kNm.

De arbeid W is gelijk aan het product van de verplaatsing s en de kracht F *in de richting van de verplaatsing.*



Als de kracht F nu niet samenvalt met de richting van de verplaatsing, wat dan? We kunnen F samengesteld denken uit F_1 in de richting van de verplaatsing en F_2 loodrecht daarop.

Als er nu een verplaatsing geschiedt over de afstand s, dan is de arbeid niet $F \times s$, maar $F_1 \times s$. Immers alleen F_1 zorgt voor de verplaatsing en F_2 werkt daar helemaal niet aan mee.

OEFENINGEN

1. Een gewicht van 500 N wordt 4 m omhoog getild. Hoeveel arbeid wordt er verricht?

2. Om een wagen 25 m te verplaatsen is 125 kNm arbeid nodig. Hoe groot is de kracht die op deze wagen in de richting van de verplaatsing werkt?

3. Een steen met een massa van 20 kg valt van een toren van 60 m hoogte. Hoeveel arbeid verricht de zwaartekracht?

4. Een magneet trekt een stukje ijzervijlsel aan met een kracht van 2 N. Het stukje ijzer verplaatst zich over een afstand van 1 mm in de richting van de kracht. Hoeveel arbeid verricht de magnetische kracht?

5. Een vliegtuig met een massa van 20 ton (= 2.10^4 kg) vliegt op 600 m hoogte horizontaal onder invloed van een kracht van 50 kN. Hoeveel arbeid verricht de zwaartekracht, die verticaal werkt?

ENERGIE

We tillen een steen met een gewicht van 50 N op tot een hoogte van 2 m boven de grond. Hierbij verrichten we een arbeid $W = 50 \times 2 = 100$ Nm. We houden deze steen 2 m boven de grond vast. We zeggen nu dat deze steen *energie* bezit. Wat bedoelen we daarmee?
We weten uit ervaring, dat de steen 2 m naar beneden zal vallen als we hem loslaten. Bij het vallen wordt dan door de zwaartekracht weer een arbeid verricht van 100 Nm. Zolang we de steen vasthouden gebeurt er niets, maar we weten zeker, dat er arbeid verricht wordt na loslaten. De steen heeft de mogelijkheid tot het verrichten van arbeid. "*De mogelijkheid tot het verrichten van arbeid* hebben" noemen we in de natuurkunde "*energie* bezitten".

Energie komt in vele vormen voor. Een gespannen veer *kan* een wekker laten aflopen. Bij het opwinden van zo'n veer hebben we arbeid verricht. We kunnen ook zeggen, dat we aan de veer energie hebben gegeven. De veer bezit de mogelijkheid om op een bepaald moment deze arbeid te gaan verrichten. Een hoeveelheid water in een stuwmeer *kan* arbeid verrichten, n.l. als er een gat in de stuwdam wordt gemaakt. Het water in het stuwmeer bezit energie. Een staaf dynamiet *kan* ontploffen, dus arbeid verrichten. Zo'n staaf bezit energie.

Een van de belangrijkste vormen van energie is de *warmte*-energie, ook wel thermische energie genoemd. Warmte-energie of kortweg "warmte" kan allerlei veranderingen tot stand brengen. Warmte kan aardappels gaar maken, ijs smelten, een huis in de as leggen, een ijzeren staaf langer maken, enz.

We kennen nog *chemische* energie; denk b.v. aan een accu. Verder o.a. *elektrische* en *magnetische* energie, en niet te vergeten *kern*energie.

In de techniek wordt vaak energie van de ene vorm in de andere vorm omgezet. Een waterval brengt een turbine in beweging. De turbine drijft op zijn beurt een dynamo aan. Met de elektrische energie die daarbij ontstaat kunnen we b.v. een accu laden. Daardoor wordt in de accu elektrische energie omgezet in chemische energie. Door de chemische energie weer om te zetten in elektrische kunnen we een auto starten en de autolichten laten branden.

Het overbrengen van energie van de ene vorm in de andere lukt nooit voor honderd procent. We zouden b.v. de chemische energie van de benzine in de tank van een auto geheel om willen zetten in bewegingsenergie van de auto. In de praktijk echter wordt tegen onze zin een belangrijk deel van deze chemische energie omgezet in warmte van de motor en de uitlaatgassen. Men zegt dat een deel van de energie "verloren" gaat. We bedoelen dan, dat de benzine-energie voor een deel in ongewenste energievormen terecht komt. We moeten echter wel bedenken, dat een van de grondbeginselen in de natuur luidt:

Energie gaat nooit verloren en kan niet uit niets ontstaan.

Als we de totale balans opmaken, dan blijkt altijd dat de hoeveelheid energie na een omzetting precies even groot gebleven is als ervoor.

Energie is dus de mogelijkheid tot het verrichten van arbeid. Het ligt dan ook voor de hand om voor energie dezelfde eenheid te gebruiken als voor arbeid, de "newtonmeter", Nm, en voor energie hetzelfde symbool W toe te passen.

ANDERE EENHEDEN VOOR ARBEID EN ENERGIE

Als eenheid van arbeid en energie hebben we tot nu toe de Nm gebruikt. Deze eenheid wordt in de mechanica en de werktuigkunde algemeen toegepast. In geval van warmte-energie gebruikt men dezelfde eenheid, die men dan meestal de naam "joule", afgekort J geeft.

"joule", spreek uit "zjoel".

In geval van elektrische energie noemt men de eenheid "wattseconde", afgekort Ws.

Onthoud:

1 Nm	=	1 J	=	1 Ws
↑ mechanische energie		↑ thermische energie		↑ elektrische energie

Volledigheidshalve vermelden we hier de nog steeds veel gebruikte eenheid van warmte: "calorie", afgekort "cal".

Onthoud: 1 Ws = 0,24 cal

VERMOGEN

Een lift wordt aangedreven door een kleine motor. Deze motor is in staat de liftkooi in 30 seconden naar de bovenste verdieping van een flatgebouw te hijsen. Rusten we deze liftinstallatie uit met een zwaardere motor dan blijkt de lift in 10 seconden naar boven te kunnen gaan.
In beide gevallen is de verrichte arbeid even groot, n.l. het produkt van het gewicht van de kooi en de verplaatsing in de liftkoker. Bij het begrip arbeid speelt de tijd geen rol. Toch is het duidelijk, dat de zwaardere motor meer gepresteerd heeft. Om dit tot uitdrukking te brengen heeft men het begrip *vermogen* ingevoerd. Onder vermogen verstaan we *arbeid per tijd.*

$$\text{Vermogen} = \frac{\text{arbeid}}{\text{tijd}}$$

Voor de grootheid vermogen gebruiken we de hoofdletter P. Het bovenste wordt in formule:

$$\boxed{P = \frac{W}{t}}$$

P	vermogen	$(\frac{\text{Nm}}{\text{s}})$
W	arbeid	(Nm)
t	tijd	(s).

Andere namen voor de Nm zijn de J en de Ws. Het vermogen kunnen we dus i.p.v. in Nm/s ook uitdrukken in J/s en tevens in Ws/s. Ws/s kunnen we vereenvoudigen tot W.

Onthoud:

$$\boxed{1\ \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1\ \text{W}}$$

mechanisch vermogen — thermisch vermogen — elektrisch vermogen

Een ouderwetse, maar nog altijd wel gebruikte eenheid van vermogen is de *paardekracht*, afgekort pk.

Onthoud:

$$\boxed{1\ \text{pk} = 736\ \text{W}}$$

VOORBEELDEN

Bestudeer volgende voorbeelden grondig.

- Een machine heeft een vermogen van 8000 Nm/s. Hoeveel arbeid levert deze machine in 10 seconden?

  Oplossing: $P = 8000\ Nm/s$

  $t = 10\ s$

  $W = P \times t = 8000 \times 10 = 8.10^4$ Nm

- Hoe groot moet het vermogen van een machine zijn om in 5 minuten een arbeid van 600 kWs te leveren?

  Oplossing: $W = 600.10^3\ Ws$

  $t = 5.60 = 300\ s$

  $P = \frac{W}{t} = \frac{600.10^3}{300} = 2.10^3\ W$ *of*

  $\frac{2.10^3}{736}\ pk \approx 2{,}7$ pk.

- Men heeft een 80 pk-automotor. Laten we aannemen, dat 90% van dit vermogen omgezet wordt in warmte. Hoeveel calorieën ontstaan er dan per uur?

  Oplossing: $80\ pk = 80.736\ W$

  Per seconde ontstaan: $0{,}9 \times (80.736)\ Ws$

  $1\ uur = 60\ min = 3600\ s.$

  Per uur ontstaan: $3600 \times 0{,}9 \times (80.736)\ Ws$

  $1\ Ws = 0{,}24\ cal.$

  Er ontstaan dus: $0{,}24 \times 3600 \times 0{,}9 \times (80.736)\ cal$

  $\approx 4{,}6.10^7$ cal.

OEFENINGEN

1. Een kracht van 500 N is werkzaam over een afstand van 100 m. Hoe groot is de verrichte arbeid?

   Nm

2. Een lift weegt 10 000 N. In 25 seconden stijgt de lift 40 m. Hoe groot is het vermogen van de liftmachine?

   Nm/s

3. Een heimachine wordt aangedreven door een 5 pk-motor. De machine hijst het heiblok met een gewicht van 2000 N tot een hoogte van 20 m. In hoeveel tijd doet de machine dit?

   s

4. Een elektro-motor levert in 10 minuten een arbeid van 13,25 kWs. Hoe groot is het motorvermogen in pk?

   pk

5. Uit een stuwmeer stort elke minuut 5400 m^3 water vanaf een hoogte van 10 m. Hoeveel Ws arbeid komt hierbij per seconde ter beschikking?

   1 m^3 water weegt 10^4 N

   Ws

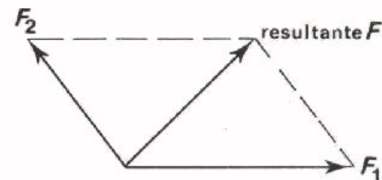
6. De motor van een auto levert voor het voortbewegen een kracht van 2944 N. De snelheid van het voertuig is 72 km per uur. Hoe groot is het vermogen van de motor in pk?

   pk

SAMENVATTING

- *Kracht* is de oorzaak van bewegingsverandering. Kracht geven we aan met de hoofdletter *F*. De *eenheid* van kracht is de "newton", afgekort N. 1 N is ongeveer de kracht nodig om een massa van 0,1 kg van de aarde op te tillen. Kracht geeft men aan met een *pijl* ⟶ . De lengte van de pijl geeft - op schaal - de grootte, dus het aantal newton aan. De richting van de pijl duidt de richting aan waarin de kracht werkt. Zo'n pijl met grootte en richting heet een *vector*.

- Krachten kunnen we *samenstellen*. We vinden de *resultante* met behulp van een *parallellogram* van krachten.



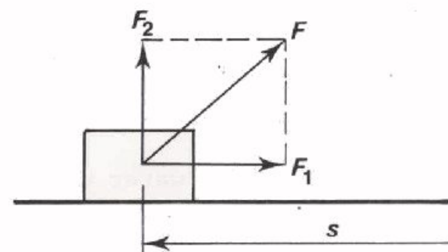
- Het produkt van "verplaatsing" en "kracht in de richting van de verplaatsing" heet *arbeid*.

$$W = F \times s$$

W	arbeid	(Nm)
F	kracht	(N)
s	verplaatsing	(m).

In de werktuigkunde is de eenheid van arbeid de "newtonmeter", Nm.

Werkt de kracht niet in de richting van de verplaatsing, dan is de arbeid gelijk aan $F_1 \times s$, zie figuur.



- *Energie* is de mogelijkheid tot het verrichten van arbeid. Energie komt in vele vormen voor, b.v. elektrische, magnetische en chemische energie. Ook warmte is een vorm van energie. Evenals arbeid wordt energie met *W* aangeduid. De *eenheid* van energie is, evenals die van arbeid, de Nm. Bij thermische energie of warmte-energie noemt men deze eenheid "joule", J.
Bij elektrische energie noemt men deze eenheid "wattseconde", Ws.

De eenheid van energie noemt men:

$$1\ \text{Nm} = 1\ \text{J} = 1\ \text{Ws}$$

mechanisch — thermisch — elektrisch

Een andere eenheid van warmte is de "calorie", cal.

$$1\ \text{Ws} = 0{,}24\ \text{cal}$$

- *Vermogen* is arbeid per tijd.

$$P = \frac{W}{t}$$

P vermogen $(\frac{\text{Nm}}{\text{s}})$

W arbeid (Nm)

t tijd (s).

De eenheid van vermogen noemt men:

$$1\ \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1\ \text{W}$$

mechanisch — thermisch — elektrisch

Een andere eenheid van vermogen is de "paardekracht", pk.

$$1\ \text{pk} = 736\ \text{W}$$

- *Let goed op!*

GROOTHEDEN	W = arbeid, energie P = vermogen, arbeid per tijd
EENHEDEN	Ws = eenheid van energie W = eenheid van vermogen

NAAM: [ ] KLAS: [ ]

OEFENINGEN

1. 1 Joule komt overeen met:

736 W	O
1 Ws	O
1 W	O
4,2 cal	O

2. Een voorwerp wordt door een kracht van 5000 N verplaatst over een afstand van 2 km. De hoeveelheid arbeid die wordt verricht bedraagt:

100 Nm	O
10^4 Nm	O
100 kNm	O
10 MNm	O

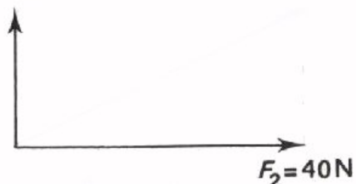
3. Welke van onderstaande eenheden is *geen* eenheid van vermogen?

Nm/s	O
W/s	O
kcal/s	O
J/s	O

4. Een strijkijzer van 880 W ontwikkelt per minuut een hoeveelheid warmte van ongeveer:

211 cal	O
880 cal	O
12,6 kcal	O
53 cal	O

5.



De resultante van deze twee krachten is gelijk aan:

60 N	O
45 N	O
40 N	O
20 N	O

6. Een motor van ¼ pk kan in 2 uur een hoeveelheid arbeid leveren van ongeveer:

368 Nm	O
22,1 kNm	O
1,33 MNm	O
150 MNm	O

7. Om 1 liter water 1^0C in temperatuur te verhogen is 1 kcal nodig. 3 liter water van 20^0C wordt op een elektrisch kookplaatje van 1000 W verwarmd tot 100^0C. De hiervoor benodigde tijd is:

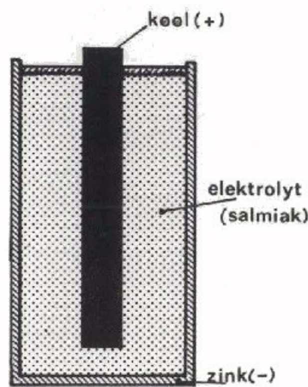
30 minuten	O
16 minuten	O
8 minuten	O
4 minuten	O

8. Bij een waterval komt per uur 500 000 m^3 water naar beneden van een hoogte van 18 m. Per seconde komt een hoeveelheid arbeid beschikbaar van:

25.10^5 Nm	O
25.10^6 Nm	O
25.10^8 Nm	O
25.10^{10} Nm	O

A 16 DE SPANNINGSBRON

ELEMENT, ACCU EN BATTERIJ



In deze figuur is - vereenvoudigd - de doorsnede getekend van een gangbare 1,5 V "batterij". In het dagelijks leven spreken we van "batterij", maar de juiste vakterm is batterij-*cel* of *element.*
De + pool van deze cel wordt gevormd door een koolstaafje. De - pool is een zinken busje waarin het geheel is opgeborgen. Tussen deze beide polen bevindt zich een z.g. *elektrolyt,* die bij deze cel bestaat uit salmiak.

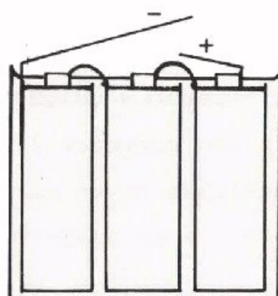
Ten gevolge van een ingewikkeld chemisch proces ontstaat er een spanningsverschil tussen het koolstaafje en het zinken busje. Na de cel enige tijd te hebben gebruikt is de chemische omzetting afgelopen. De cel is uitgeput, er is geen spanningsverschil meer. Men gooit het ding in de vuilnisbak.

Er bestaan ook cellen die men na gebruik telkens weer op kan laden. Deze z.g. *accumulatoren* of kortweg accu's hebben als elektrolyt een zuur of een loog. Het laden van een accu geschiedt door er een stroom doorheen te sturen in de richting tegengesteld aan die bij leverantie van stroom.

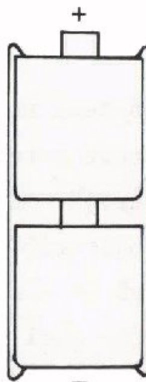
Door serieschakeling van een aantal cellen ontstaat een *batterij.* Hierbij wordt telkens de + van een element verbonden met de - van een volgend. De totale spanning is dan gelijk aan de som van de spanningen van de afzonderlijke elementen.

De spanning per cel bedraagt bij enkele veel gebruikte batterijen 1 à 2 V. Deze spanning hangt af van de gebruikte metalen en de toegepaste elektrolyt.

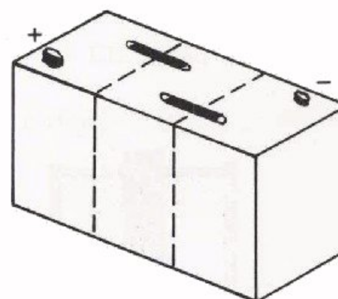
Enkele voorbeelden:



4,5 V batterij voor een zaklantaarn



1,5 V staaf-batterij



6 V auto-accu

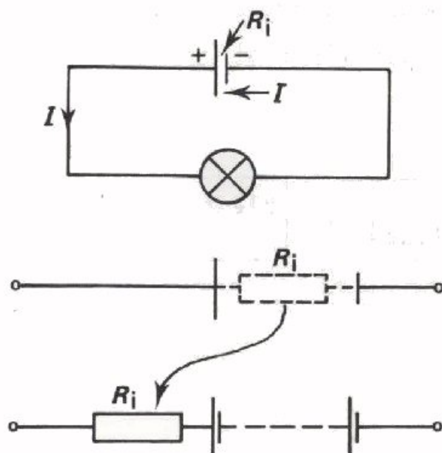
Schemateken voor een element of cel:

Schemateken voor een batterij:

of:

De korte streep is altijd de - pool.

INWENDIGE WEERSTAND EN E.M.K.

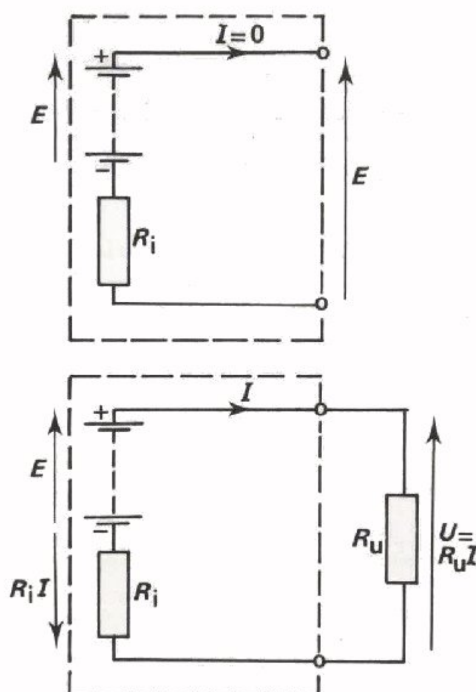


Als we een lampje op een cel aansluiten dan loopt er door het lampje een stroom I. Buiten de cel loopt deze stroom van + naar - en binnen de cel van - naar +. De stroom in de cel loopt door het zinken busje, via de elektrolyt en door het koolstaafje.

Op zijn weg door de cel ondervindt de stroom enige tegenstand. De weerstand binnenin een cel noemen we de *inwendige weerstand* R_i van de cel.

De inwendige weerstand tekent men dikwijls ter wille van de duidelijkheid als een serieweerstand *buiten* een batterij.

Al eerder - in les A3 - hebben we gezien, dat we een cel het beste een "spanningsbron" kunnen noemen. Hij levert n.l. altijd spanning, maar alleen dán stroom als we een belasting aanbrengen.



De "elektrische druk" die tussen de klemmen van een batterij werkzaam is, als de batterij niet is belast, noemt men *elektromotorische kracht*, afgekort E.M.K. en aangeduid met de hoofdletter E.

Belasten we een batterij met een *uitwendige weerstand* R_u, dan veroorzaakt de E.M.K. een stroom I door R_u *en* door R_i. De spanning E verdeelt zich over R_i en R_u. Een deel $R_i.I$ gaat verloren in het inwendige van de batterij. We spreken dan ook van het "inwendige spanningsverlies $R_i.I$". De rest van de E.M.K. staat tussen de *klemmen* en bedraagt $U = R_u I$. Dit deel van de E.M.K. heet *klemspanning*.

Bij een onbelaste spanningsbron loopt er geen stroom. De spanning tussen de klemmen is gelijk aan de E.M.K. Er is dan immers geen spanningsverlies over R_i.
Bij een belaste spanningsbron loopt er wel stroom. De E.M.K. verdeelt zich over R_i en R_u. We kunnen dit in formule schrijven als:

$$E = R_i I + R_u I$$

of: E.M.K. = inwendig spanningsverlies + klemspanning U

Deze formule kan men ook schrijven:

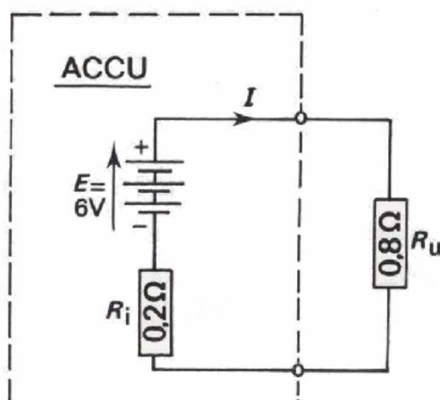
$$R_u I = E - R_i I$$

of: $$U = E - R_i I$$

U klemspanning
E E.M.K.
R_i inwendige weerstand
$R_i I$ inwendig spanningsverlies

Voorbeeld.

Een accu heeft een E.M.K. van 6 V. De inwendige weerstand R_i = 0,2 Ω. Deze accu wordt belast met een weerstand R_u = 0,8 Ω. Hoe groot is de klemspanning?



We rekenen eerst de stroom uit.

$E = R_i I + R_u I$

$E = I \cdot (R_i + R_u)$

$6 = I \cdot (0{,}2 + 0{,}8)$

$6 = I \cdot 1$

$I = 6$ A

De klemspanning $U = R_u I$

$= 0{,}8 \cdot 6 = 4{,}8$ V

De E.M.K. verdeelt zich in twee delen: 4,8 V over de weerstand R_u en 1,2 V over de inwendige weerstand van de spanningsbron.

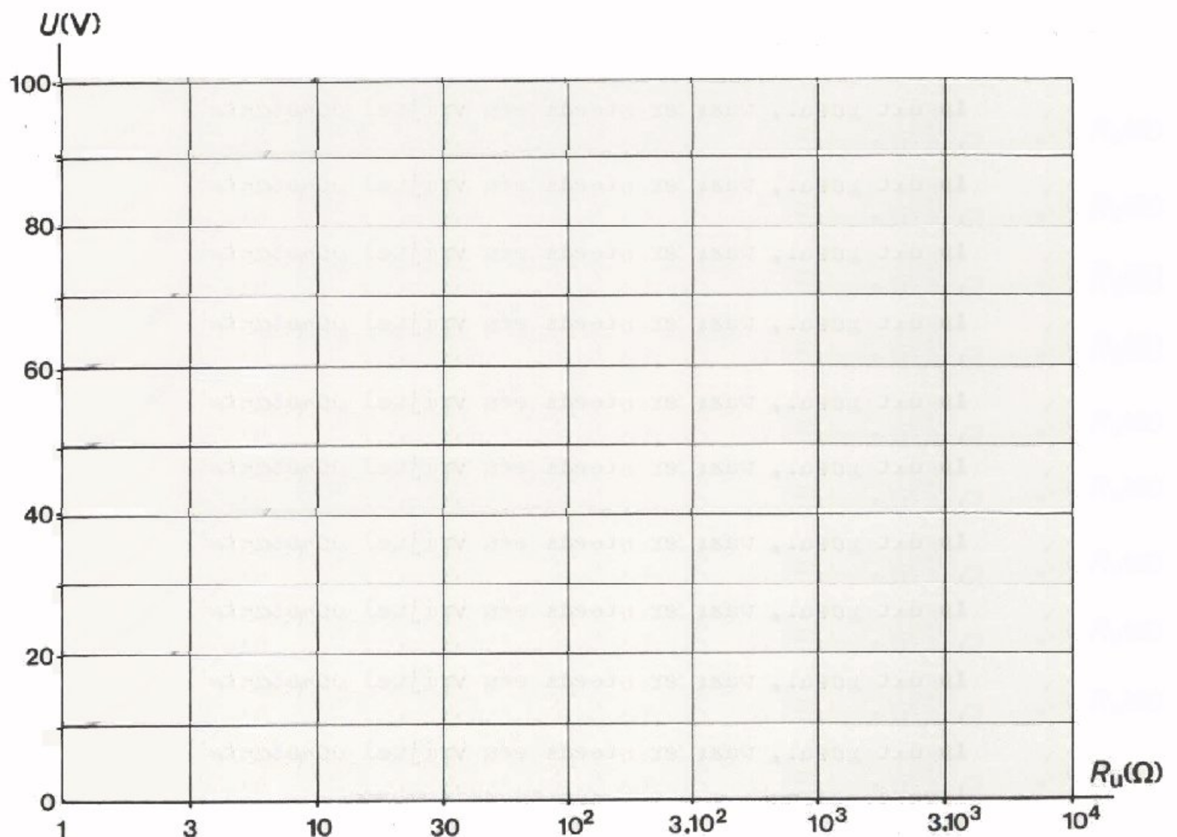
OEFENING

Een batterij met een E.M.K. van 100 V heeft een R_i van 10 Ω. Deze batterij belast men met een weerstand R_u = 10 kΩ.

- Bereken de klemspanning U.
- Herhaal deze berekening voor belastingsweerstanden van achtereenvolgens: 1 kΩ, 300 Ω, 100 Ω, 30 Ω, 10 Ω, 3 Ω en 1 Ω.
- Vul de gevonden waarden in de volgende tabel in:

E.M.K. E (V)	R_i (Ω)	R_u (Ω)	klemspanning U (V)
100	10	10^4	
		10^3	
		300	
		100	
		30	
		10	
		3	
		1	

- Zet de waarden van U en R_u in volgend assenstelsel uit en verbind de gevonden punten door een vloeiende lijn. U ziet dan hoe de klemspanning U zich gedraagt bij toenemende waarde van de belastingsweerstand.



- Het zal u opgevallen zijn, dat de schaal voor de weerstandswaarden niet verloopt zoals u gewend bent. De waarden 1, 10, 10^2, 10^3 en 10^4 liggen namelijk even ver uit elkaar. Men noemt dit een *logaritmische schaal.* Deze schaal is met opzet zo gekozen, omdat bij een normale schaal de punten links veel dichter bij elkaar zouden komen liggen dan rechts. Dit soort schalen wordt in de techniek vaak toegepast.

- Uit de grafiek ziet men duidelijk, dat de klemspanning U bij grote waarden van R_u ongeveer gelijk is aan de E.M.K. E = 100 V. Bij kleine waarden van R_u "zakt de klemspanning in elkaar".

- Merk op, dat de klemspanning tot op de helft van E gezakt is, als $R_u = R_i$.

SPANNINGSBRON / STROOMBRON

Bij een voedingsbron kunnen we twee bijzondere gevallen onderscheiden.

- Een bron levert stroom aan een veranderende belastingsweerstand R_u die veel groter is dan de inwendige weerstand R_i van de bron. In dit geval is de formule:

$$U = E - R_i I$$

of: $$E = (R_i + R_u)I$$

↑ de inwendige weerstand te verwaarlozen t.o.v. R_u.

We vinden dus:

$$E \approx R_u I = U.$$

De klemspanning U is dus vrijwel constant en ongeveer gelijk aan de E.M.K.

In dit geval, waar er steeds een vrijwel *constante spanning* wordt geleverd, spreekt men van een *spanningsbron*.

:dit is het symbool van de spanningsbron.

- De voedingsbron levert stroom aan een veranderende belastingsweerstand R_u die veel kleiner is dan de inwendige weerstand R_i van de bron. In dit geval is de formule:

$$E = R_i I + R_u I$$

of: $$E = (R_i + R_u)I$$

↑ te verwaarlozen t.o.v. R_i.

We vinden dus:

$$E \approx R_i I$$

of: $$I \approx \frac{E}{R_i}.$$

De stroom I is dus vrijwel constant en ongeveer gelijk aan het quotiënt van E.M.K. en inwendige weerstand.

In dit geval, waar er steeds een vrijwel *constante stroom* wordt geleverd, spreekt men van een *stroombron*.

:dit is het symbool van de stroombron.

PRAKTISCHE OPMERKINGEN

- Bij gebruik in de praktijk gedragen de meeste elektrische voedingsbronnen zich als "spanningsbronnen", d.w.z. als bronnen van vrijwel constante spanning. Dit komt, doordat de belastingsweerstanden bijna altijd veel groter zijn dan de inwendige weerstand R_i van de bronnen.
  Het door ons bij de proeven gebruikte voedingsapparaat is een voorbeeld van een spanningsbron. Ook "het lichtnet" bezit een zeer kleine R_i en is dus in de praktijk een spanningsbron.
  Een nieuwe batterij is een spanningsbron, maar na enige tijd in gebruik te zijn geweest neemt de R_i sterk toe. Door deze veroudering gaat een batterij zich steeds minder als een "bron van vrijwel constante spanning" gedragen.
  Verder is een accu, waarvan men slechts enkele ampère afneemt, een spanningsbron. Bij het starten van een auto belast men de accu echter met de zeer kleine R_u van de startmotor en loopt de stroom op tot 50 à 100 A. Tijdens het starten zakt de klemspanning dan ook sterk, hetgeen men bij avond kan zien aan het veel minder fel gaan branden van de koplampen.

- Bij het verouderen van een batterij neemt de E.M.K. enigszins af. Bovendien neemt dan de R_i zeer sterk toe en wordt vele malen zo groot als die van een nieuwe batterij. Een verouderde batterij kan dan ook niet veel stroom meer leveren; dit voornamelijk omdat zijn R_i zo sterk is toegenomen.

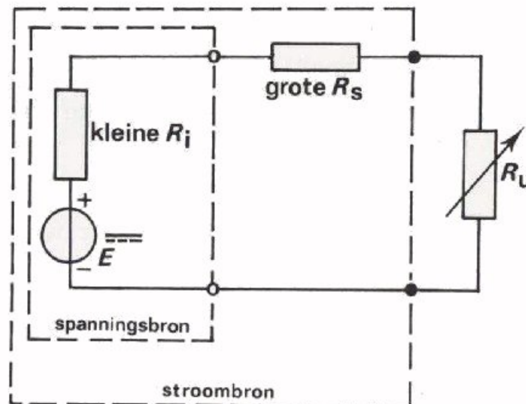
- Bij in serie geschakelde cellen is de inwendige weerstand van de batterij gelijk aan de som van de R_i's van de afzonderlijke cellen. Bij het verouderen van een cel neemt zoals gezegd de R_i zeer sterk toe. Als een batterij één slechte cel bevat, is de gehele batterij slecht. Dit komt doordat door de grote R_i van deze ene cel de totale R_i veel te groot is. Het heeft daarom weinig zin om van drie verouderde cellen er b.v. twee te vernieuwen. Als men vernieuwt, moet men dit met alle drie doen.

- Men kan elementen ook parallel schakelen. De totale E.M.K. blijft gelijk aan die van de afzonderlijke cellen, maar de totale inwendige weerstand wordt kleiner; de afzonderlijke R_i's staan immers parallel. Deze kleinere totale R_i betekent, dat men een grotere stroom kan afnemen.

Als men te weten wil komen of een batterij, accu of element nog goed is, dan moet men de klemspanning in *belaste* toestand bepalen. Meet men een onbelaste batterij met een voltmeter - dit is een zeer grote R_u -, dan controleert men alleen de E.M.K., terwijl juist de R_i van belang is.

- Een elektrische voedingsbron kan als regel niet tegen kortsluiten. Bij het afnemen van zeer grote stromen gaan de meeste bronnen binnen korte tijd defect. Bij een accu is het zelfs niet denkbeeldig, dat deze uit elkaar vliegt. *Sluit daarom nooit een accu "even" kort* om te kijken "of het nog vonkt". Een exploderende accu kan door het rondspattend zwavelzuur zelfs blindheid veroorzaken.

- Een "stroombron" zal men in de praktijk niet gauw tegenkomen. Wel bestaat er soms behoefte om door een enigszins in waarde veranderende weerstand R_u een vrijwel constante stroom te sturen.



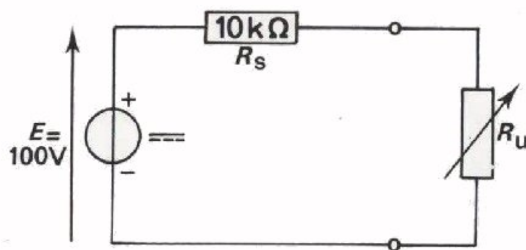
In dat geval maakt men van een spanningsbron met een kleine R_i, een stroombron door er een grote R_s mee in serie te schakelen. Men moet er dan voor zorgen dat:

$$R_i + R_s >> R_u$$

Dan is:

$$I = \frac{E}{R_i + R_s + R_u} \approx \frac{E}{R_s}$$

Voorbeeld.



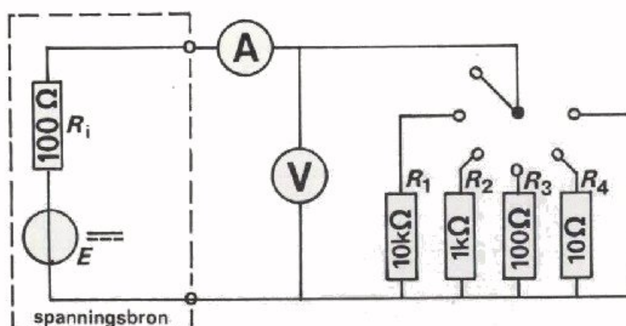
In deze schakeling is een weerstand R_u aangesloten op een spanningsbron met een E.M.K. = 100 V en een te verwaarlozen R_i. De waarde van R_u varieert tussen 50 Ω en 100 Ω. Door met de spanningsbron een weerstand R_s = 10 kΩ in serie te schakelen bereikt men dat de stroom door R_u, ook als de waarde van deze weerstand verandert, nagenoeg constant blijft.

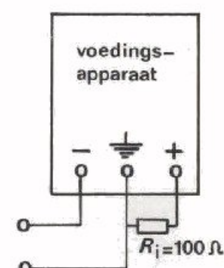
Bepaal de stroom door de uitwendige weerstand R_u:

als R_u = 50 Ω I = ____________

als R_u = 100 Ω I = ____________

OPDRACHT: "KLEMSPANNING BIJ VERSCHILLENDE BELASTINGEN"



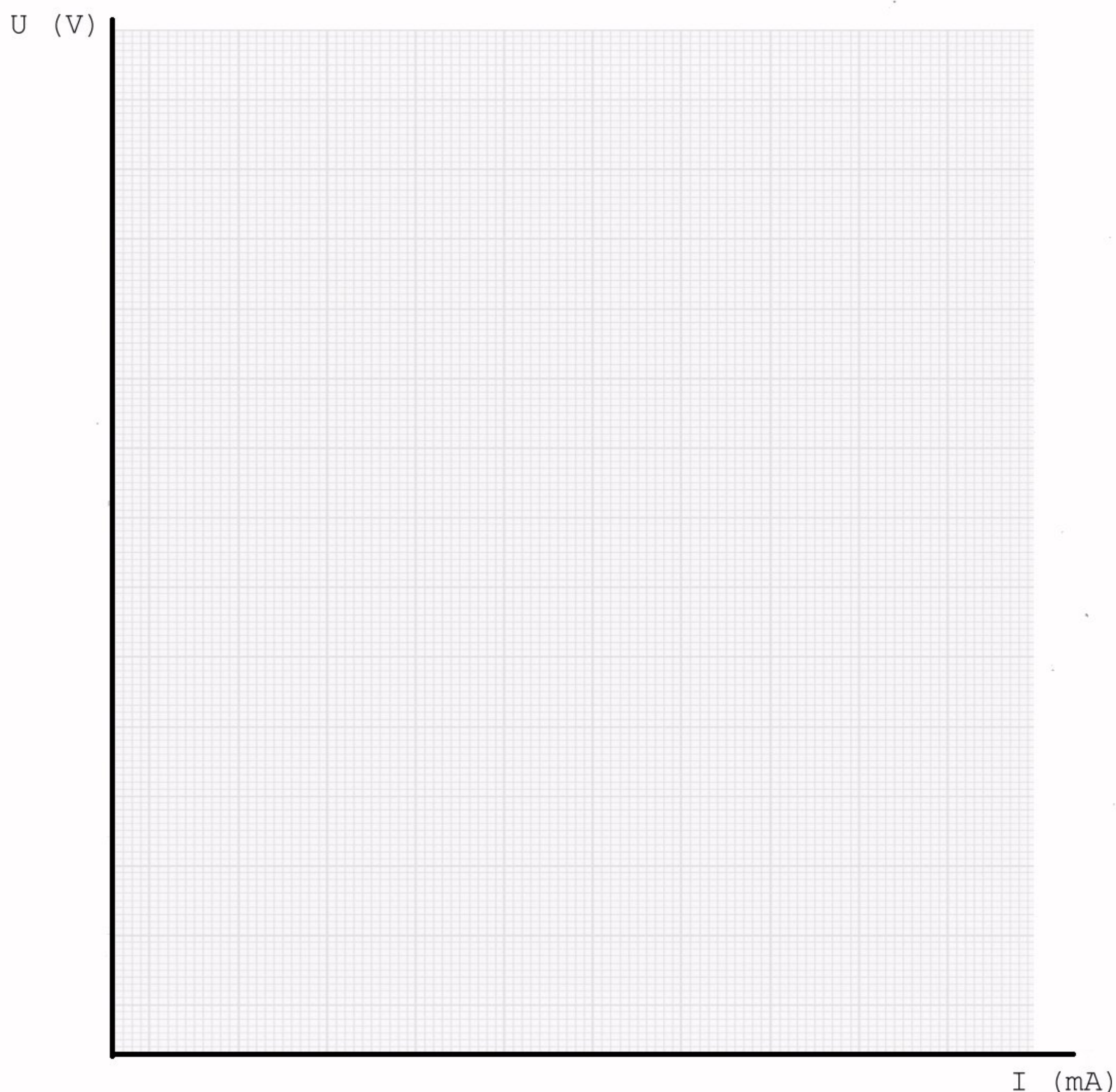


- Bouw bovenstaande schakeling op uw oefenpaneel. Verhoog de inwendige weerstand van de voedingsbron, die zeer klein is, door een weerstand R_i van 100 Ω aan te brengen tussen de + klem en de aardklem van het voedingsapparaat. Zie schets hiernaast.
- Stel de spanning die de spanningsbron onbelast afgeeft in op 10 V.
- Belast de spanningsbron met R_1 = 10 000 Ω. Lees de voltmeter en de stroommeter af en noteer de waarden in onderstaande tabel.
- Herhaal bovenstaande meting met R_2, R_3 en R_4. Noteer telkens de waarden van U en I in de tabel.
- Verricht de meting ook in kortgesloten toestand, waarbij een z.g. *kortsluitstroom* I_{kort} gaat lopen. Vul ook dit in de tabel in.

Tabel

belastingsweerstand (Ω) Ru	U (V)	I (mA)
R = ∞	10	0
R_1 = 10 000	9,9	0,1
R_2 = 1000	8,9	9,3
R_3 = 100	4,9	51
R_4 = 10	1,1	90
R = 0	0	100

- Zet de gemeten waarden van *U* en *I* in onderstaande figuur uit.



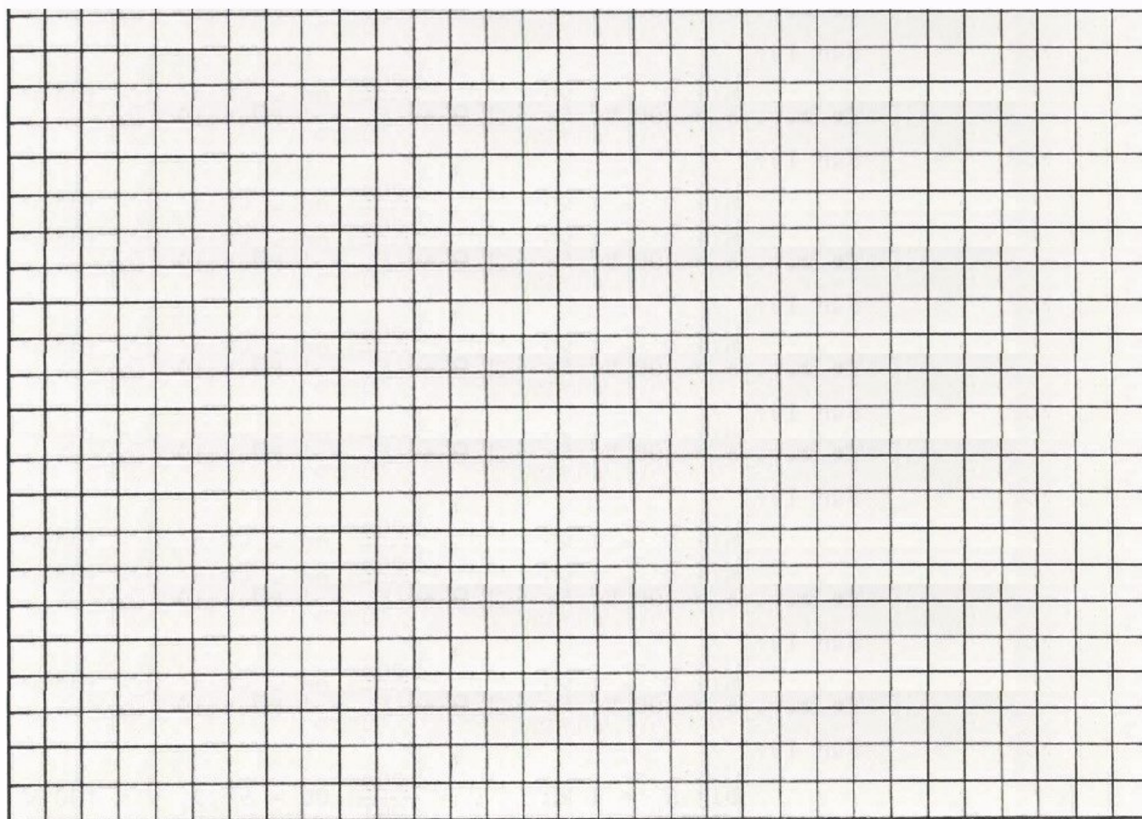
- Verbind de meetpunten door een vloeiende lijn en vermeld bij elk meetpunt de waarde van de belastingsweerstand.
- In de getekende grafiek ziet u wat er met de klemspanning *U* gebeurt als men de spanningsbron met steeds kleinere weerstanden belast.
- Uit de grafiek kunt u de E.M.K. aflezen: *E* = 10 V

- Bij welke belastingsweerstand R_u is de klemspanning gedaald tot op de helft van E?

R_u =

- Welk verband bestaat er tussen R_u en R_i als de klemspanning tot op de helft van E is gedaald?

- Teken het schema van de kortgesloten toestand.

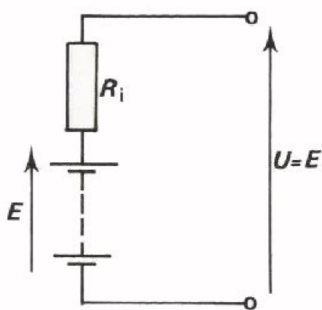


- Welk verband bestaat er tussen de E.M.K. E, de inwendige weerstand R_i en de kortsluitstroom I_{kort}?

Algemeen in formule: E =

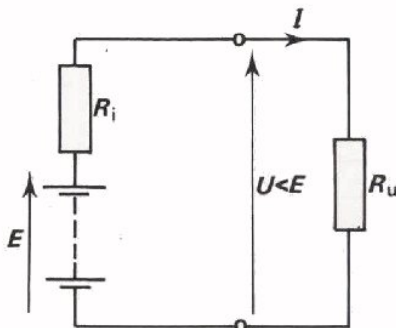
Voor dit geval, in getallen: 10 =

SAMENVATTING



Een elektrische voedingsbron kan men opgebouwd denken uit de serieschakeling van een *inwendige weerstand* R_i en een deel dat voor de "elektrische druk" - de *elektromotorische kracht*, E.M.K. - zorgt.

De spanning tussen de aansluitklemmen noemt men de *klemspanning*. Bij een onbelaste bron is de klemspanning gelijk aan de E.M.K. E.



Bij een belaste voedingsbron is de klemspanning kleiner dan E ten gevolge van het *inwendig spanningsverlies* R_iI over de inwendige weerstand R_i:

$$\boxed{U = E - R_iI}$$

De klemspanning is bij belasting met een *uitwendige weerstand* R_u vanzelfsprekend ook:

$$U = R_uI.$$

Onder een *spanningsbron* verstaat men een "bron van vrijwel *constante* spanning". Dit is het geval als R_i véél kleiner blijft dan een enigszins variërende belasting R_u.

Is b.v. $E = 100$ V, $R_i = 1\ \Omega$ en $R_u = 1$ kΩ à 10 kΩ, dan is:

bij $R_u = 1$ kΩ $\quad U = \frac{1000}{1001}\,100 = 99{,}9\ \text{V} \approx 100\ \text{V}$

en bij $R_u = 10$ kΩ $\quad U = \frac{10\,000}{10\,001}\,100 = 99{,}99\ \text{V} \approx 100\ \text{V}.$

Onder een *stroombron* verstaat men een "bron van vrijwel *constante* stroom". Dit is het geval als R_i véél groter blijft dan een enigszins variërende belasting R_u.

Is b.v. $E = 100$ V, $R_i = 10$ kΩ en $R_u = 10$ à 100 Ω,

bij $R_u = 10\ \Omega$ $\quad I = \frac{100}{10\,010}\ \text{A} = 9{,}99\ \text{mA} \approx 10\ \text{mA}$

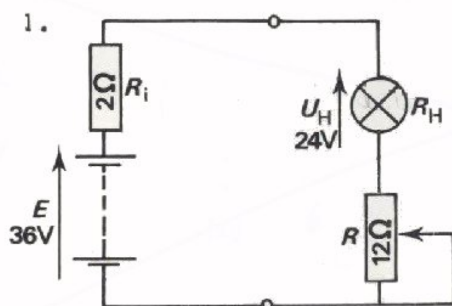
en bij $R_u = 100\ \Omega$ $\quad I = \frac{100}{10\,100}\ \text{A} = 9{,}9\ \text{mA} \approx 10\ \text{mA}.$

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

1.



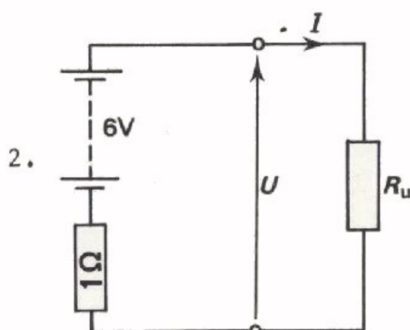
- Bereken op welke waarde R is ingesteld.

R =

- Hoe groot is het inwendig spanningsverlies?

$R_i I$ =

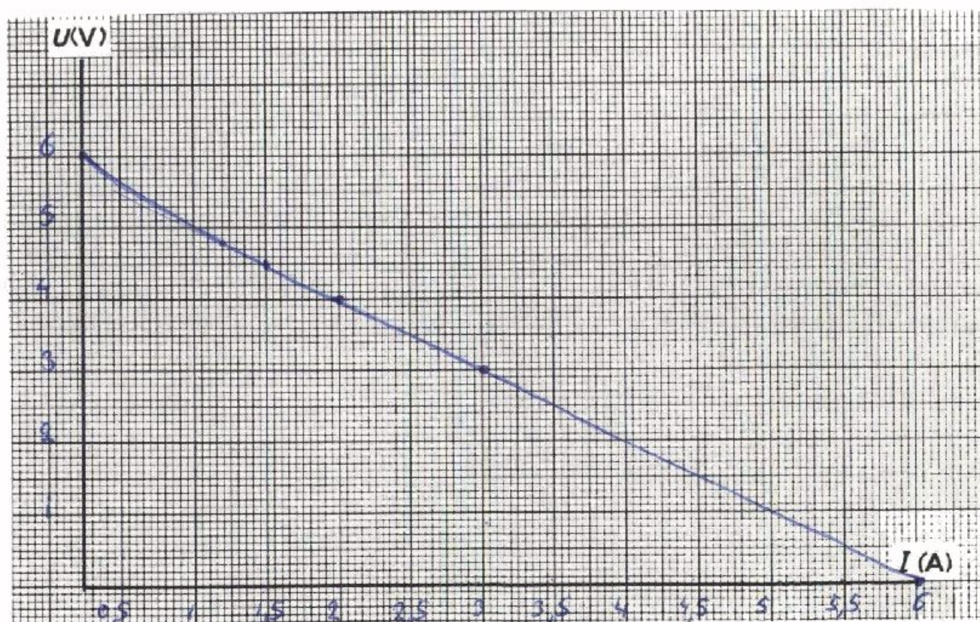
2.



Bereken I en U als R_u de waarden uit onderstaande tabel heeft.

R_u (Ω)	I (A)	U (V)	
0			kortsluiting!
1			
2			
3			
4			
∞			open toestand!

Zet de gevonden waarden in onderstaande grafiek uit. De grafiek laat zien hoe de klemspanning verloopt bij het toenemen van de afgenomen stroom.



3. Op een zakbatterij met een E.M.K. van 4½ V en een R_i van 10 Ω wordt een lampje aangesloten van 4 V/50 mA. De weerstand van het lampje wordt constant verondersteld. Hoeveel bedraagt de klemspanning van de batterij?

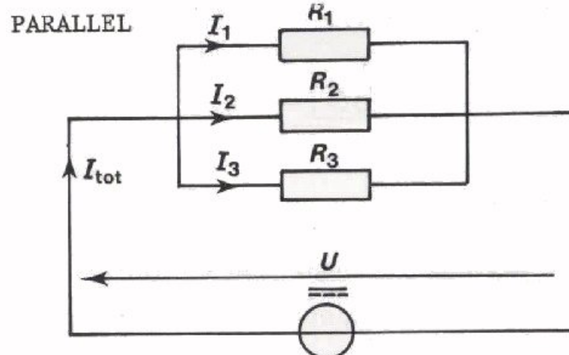
Vervolgens wordt nog zo'n lampje aangesloten parallel aan het eerste. Hoeveel bedraagt nu de klemspanning?

A 17 GEMENGDE SCHAKELING VAN WEERSTANDEN

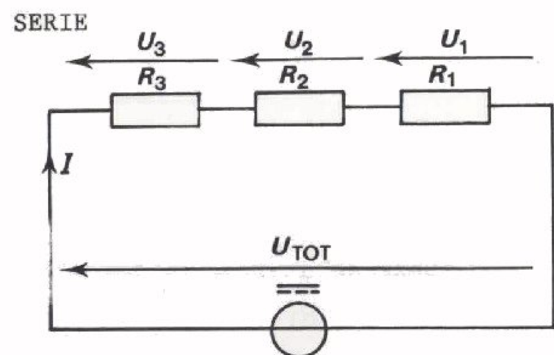
In les A12 is de parallelschakeling van weerstanden en in les A13 de serieschakeling aan de orde geweest. In deze les behandelen we schakelingen, waarin combinaties van in serie en parallel geschakelde weerstanden voorkomen. Dergelijke schakelingen noemt men *gemengde schakelingen*.

Om te beginnen zetten we nog eens kort en bondig de eigenschappen van serie- en parallelschakelingen van weerstanden naast elkaar.

PARALLEL



SERIE



Parallel

- Over elke R staat dezelfde spanning.
- De totaal toegevoerde stroom is gelijk aan de som van de deelstromen.

$$I_{TOT} = I_1 + I_2 + I_3$$

- De deelstromen verhouden zich als de omgekeerde waarden van weerstanden.

$$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$$

- Voor de vervangingsweerstand geldt:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

- De vervangingsweerstand is kleiner dan de kleinste weerstand.

Serie

- Door elke R gaat dezelfde stroom.
- De totaal toegevoerde spanning is gelijk aan de som van de deelspanningen.

$$U_{TOT} = U_1 + U_2 + U_3$$

- De deelspanningen verhouden zich als de weerstanden.

$$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$$

- Voor de vervangingsweerstand geldt:

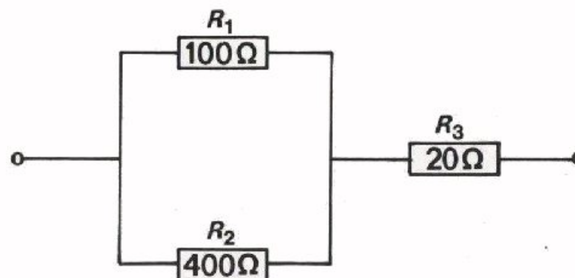
$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

- De vervangingsweerstand is groter dan de grootste weerstand.

- Wordt één van de weerstanden onderbroken, dan blijft er stroom lopen door de andere.
- Wordt één weerstand kortgesloten, dan loopt er (bijna) geen stroom meer door de andere weerstanden.

- Wordt één van de weerstanden onderbroken, dan loopt er door geen van de weerstanden nog stroom.
- Wordt één weerstand kortgesloten, dan blijft door de andere weerstanden een (iets) grotere stroom lopen.

DE VERVANGINGSWEERSTAND



Deze schakeling is een voorbeeld van een gemengde schakeling. De weerstanden R_1 en R_2 staan parallel en R_3 staat daarmee in serie. Hoe groot is de vervangingsweerstand van deze schakeling?

- De vervangingsweerstand van R_1 en R_2 is:

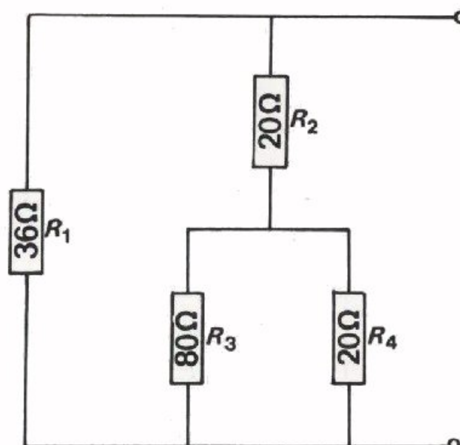
$$\frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 \times 400}{100 + 400}\ \Omega = 80\ \Omega.$$

- Met deze 80 Ω staat R_3 = 20 Ω in serie.

De vervangingsweerstand van de gehele schakeling is:

$$R_{TOT} = 80\ \Omega + 20\ \Omega = 100\ \Omega$$

OEFENING

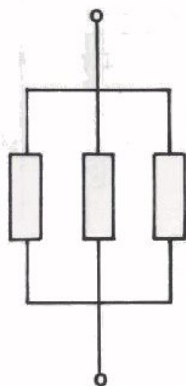
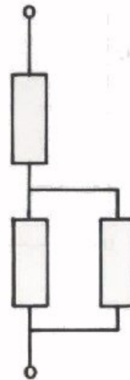
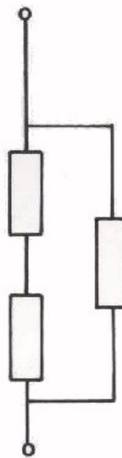


Bepaal de vervangingsweerstand van nevenstaande schakeling.

Totale weerstand: [ ]

OPDRACHT: "WEERSTANDSMETING AAN GEMENGDE SCHAKELINGEN"

Gebruik makend van drie gelijke weerstanden van 1 kΩ kan men de volgende vier combinaties maken:

(A) (B) (C) (D)

- Bereken in deze vier gevallen de vervangingsweerstand:

- Bouw schakeling (A) met drie weerstanden van 1 kΩ op uw oefenpaneel. Meet met behulp van een ohmmeter de totale weerstand.

R_A =

- Bouw schakeling (B) en meet evenzo de totale weerstand.

R_B =

- Doe hetzelfde met schakeling (C).

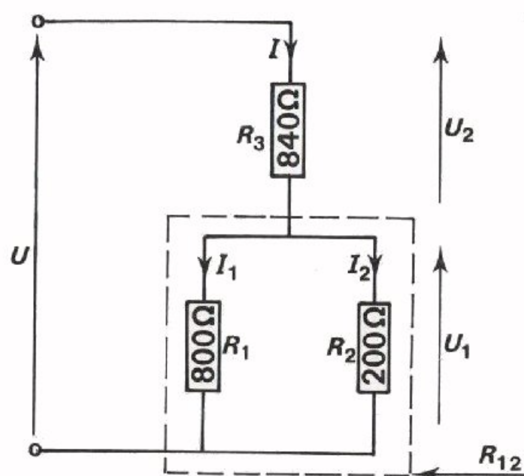
R_C =

- Herhaal deze meting met schakeling (D).

R_D =

- Vergelijk de berekende en gemeten waarden.

STROMEN EN SPANNINGEN IN GEMENGDE SCHAKELINGEN



Deze gemengde schakeling is aangesloten op een spanning U = 10 V. De weerstanden R_1 en R_2 staan parallel en R_3 staat daarmee in serie. Gevraagd de stromen I, I_1 en I_2 en de spanningen U_1 en U_2 in deze schakeling.

We bepalen eerst de vervangingsweerstand van de gehele schakeling.

De vervangingsweerstand van R_1 en R_2 is:

$$\frac{800 \cdot 200}{800 + 200}\ \Omega = 160\ \Omega.$$

$R_{tot} = R_3 + R_{12} = 840 + 160 = 1000\ \Omega.$

De totale stroom I bedraagt: $\frac{10}{1000}$ A = 10 mA.

De spanning over R_3 is: $U_2 = R_3 I = 840.0{,}01$

$= 8{,}4$ V.

De spanning $U_1 = U - U_2 = 10 - 8{,}4 = 1{,}6$ V.

De stroom door R_1 is: $I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{1{,}6}{800} = 2$ mA.

De stroom door R_2 is: $I_2 = \frac{U_1}{R_2} = \frac{1{,}6}{200} = 8$ mA.

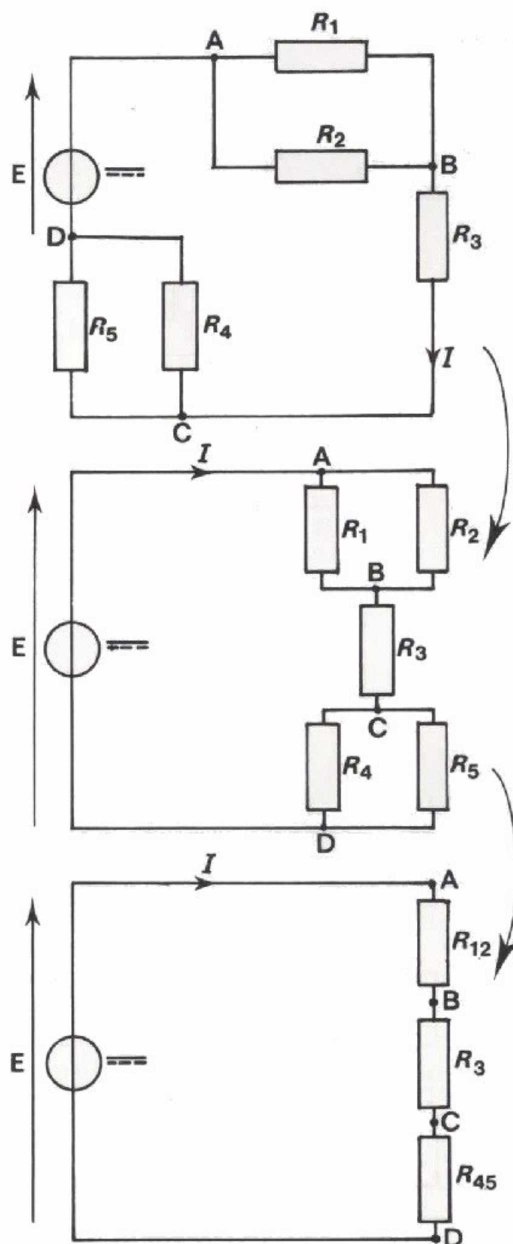
Controle. Er moet gelden: $I = I_1 + I_2$, of

$10 = 2 + 8$ mA

klopt!

HET VEREENVOUDIGEN VAN SCHAKELINGEN

Het is nuttig om ingewikkelde gemengde schakelingen op een overzichtelijke manier opnieuw te tekenen en te vereenvoudigen. Dit proces moet men dikwijls enige malen na elkaar herhalen. We geven een voorbeeld.



Deze gemengde schakeling ziet er ingewikkeld uit.

We hebben hier de schakeling op een overzichtelijke manier overgetekend. We zien nu duidelijker, dat in serie staan:

- de parallelschakeling van R_1 en R_2
- de weerstand R_3
- de parallelschakeling van R_4 en R_5.

We hebben hier het schema vereenvoudigd. I.p.v. R_1 en R_2 parallel hebben we de vervangingsweerstand R_{12} getekend. I.p.v. R_4 en R_5 parallel hebben we de vervangingsweerstand R_{45} getekend.

Het ingewikkelde schema is teruggebracht tot een eenvoudige serieschakeling van drie weerstanden.

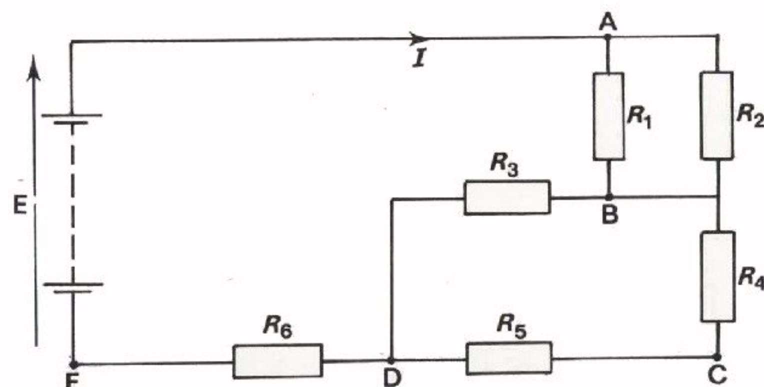
Men kan nu snel inzien, dat de totale stroom $I = \dfrac{E}{R_{12} + R_3 + R_{45}}$,

waarin: $R_{12} = \dfrac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

$R_{45} = \dfrac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5}$.

OEFENING

- Schets op pagina A17.7 de volgende schakeling handiger en vereenvoudig hem in stappen.



- Als gegeven is: $E = 24$ V

  $R_1 = 40\ \Omega$

  $R_2 = 60\ \Omega$

  $R_3 = 20\ \Omega$

  $R_4 = R_5 = 15\ \Omega$

  $R_6 = 84\ \Omega$, bereken dan de stroom I.

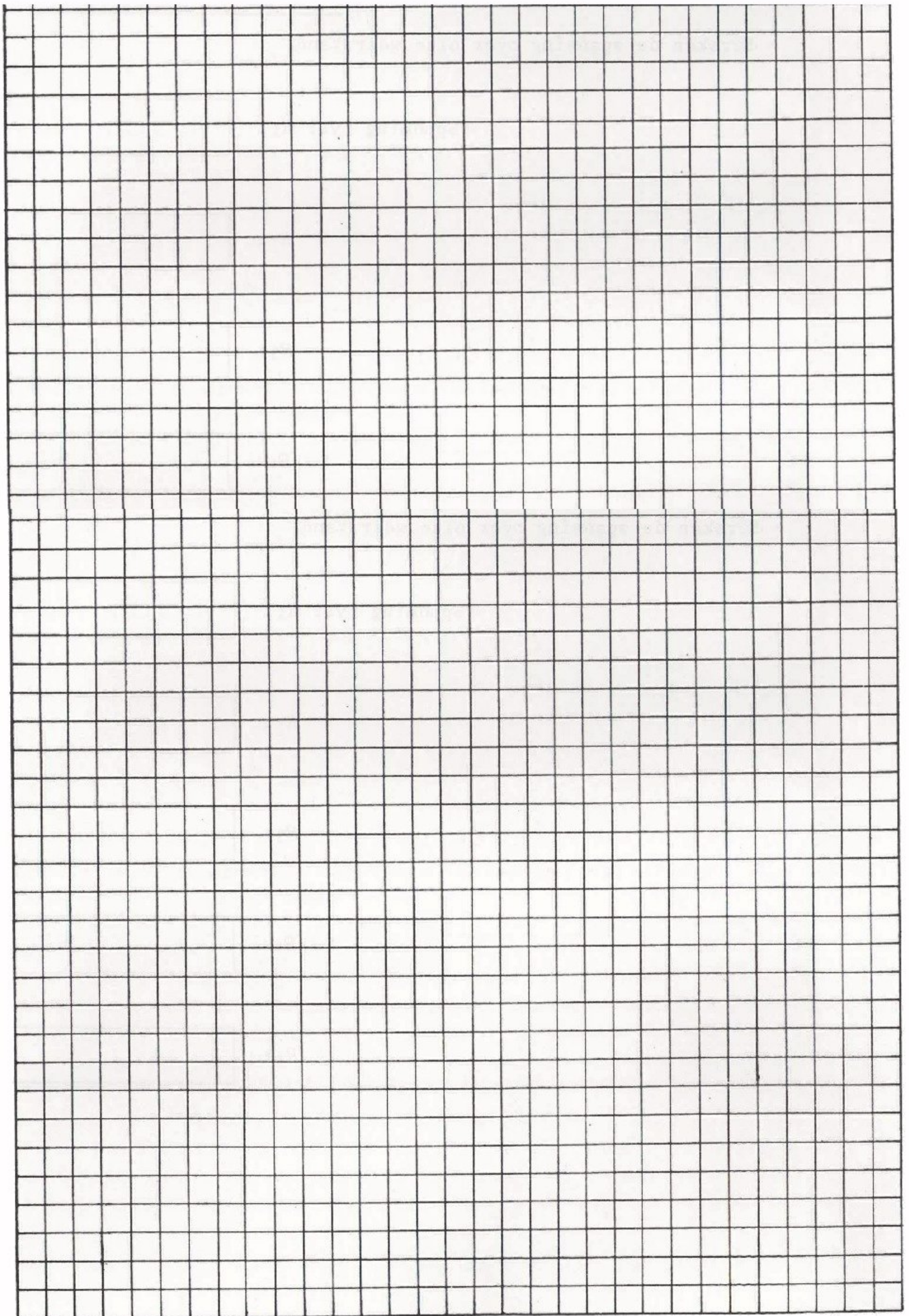
  $I =$ ☐

- Bereken nu ook de spanning over R_3.

  Deze spanning is: ☐

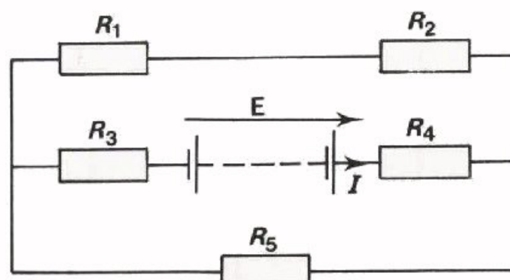
- Hoe groot is de spanning over R_4?

  Deze spanning is: ☐



NOG EEN OEFENING

- Schets op pagina A17.9 volgende schakeling handiger en vereenvoudig hem in stappen.



- Alle weerstanden in deze schakeling zijn gelijk en hebben een waarde: R = 3 kΩ. De E.M.K. van de batterij is 80 V. Bereken de stroom I.

I = [ ]

- Bereken de spanning over elke weerstand.

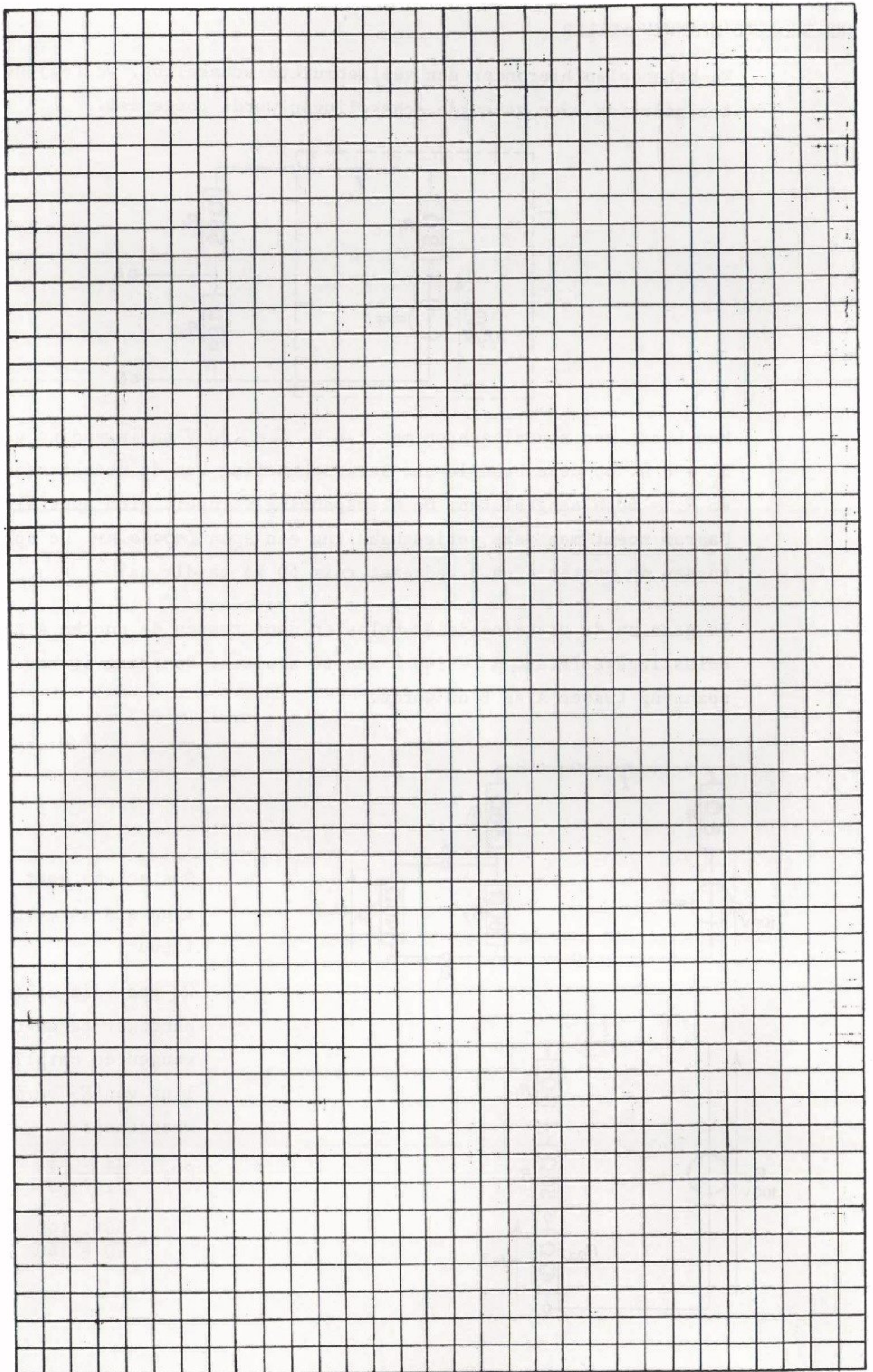
Spanning over R_1: [ ]

R_2: [ ]

R_3: [ ]

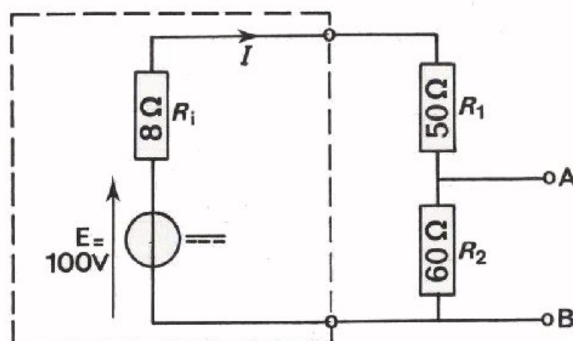
R_4: [ ]

R_5: [ ]



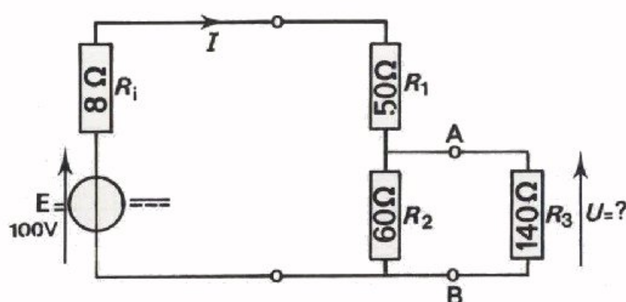
EEN BELASTE SPANNINGSDELER

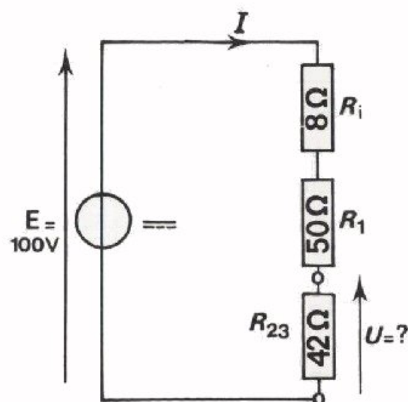
We behandelen hieronder een veelgebruikte schakeling, waarbij het tot nu toe geleerde over gemengde schakelingen wordt toegepast.



Men heeft een spanningsbron met E.M.K. E = 100 V en inwendige weerstand R_i = 8 Ω. Op deze bron is een serieschakeling van de weerstanden R_1 = 50 Ω en R_2 = 60 Ω aangesloten. De klemspanning verdeelt zich over R_1 en R_2. Daarom noemt men deze serieschakeling een *spanningsdeler*. De spanning tussen de punten A en B bedraagt ruim 50 V; ga dit na!

We gaan nu de spanningsdeler belasten door tussen de punten A en B een belastingsweerstand R = 140 Ω aan te sluiten. De vraag is hoe groot de spanning tussen A en B nu wordt.





Ons schema gaat er nu uitzien als in nevenstaande figuur.

We gaan dit schema wat handiger tekenen en vervangen de parallelschakeling van R_2 en R_3 door één weerstand:

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

$$= \frac{60 \cdot 140}{60 + 140} = 42\ \Omega.$$

We hebben nu een schema gekregen met drie in serie geschakelde weerstanden, waarvan de totale weerstand: $R_{tot} = 8 + 50 + 42 = 100\ \Omega$.

We vinden nu gemakkelijk de stroom:

$$I = \frac{E}{R_{TOT}} = \frac{100}{100} = 1\ A.$$

De spanning tussen de punten A en B bedraagt dan:

$$U = R_{23}.I = 42.1 = 42\ V.$$

De spanning tussen de punten A en B van de onbelaste spanningsdeler bedroeg ruim 50 V. Door belasting met $R_3 = 140\ \Omega$ daalt deze spanning tot 42 V.

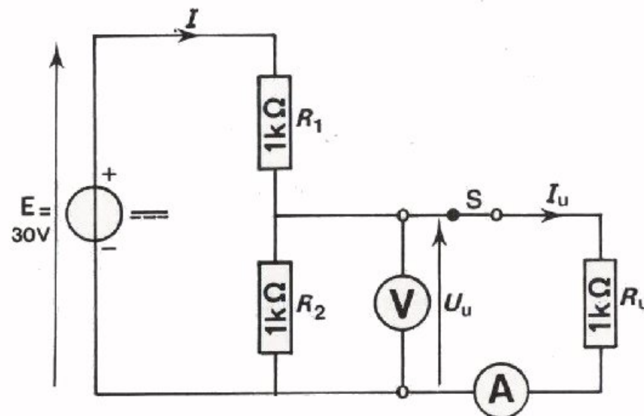
Als men deze spanningsdeler belast met $R_3 = 40\ \Omega$, wordt de spanning tussen A en B dan groter of kleiner dan 42 V?

Antwoord: [ ]

Hoe groot is die spanning dan? Bij belasting met $R_3 = 40\ \Omega$ is de spanning tussen A en B:

[ ]

OPDRACHT: DE INVLOED VAN HET BELASTEN VAN EEN SPANNINGSDELER



- Bouw een belaste spanningsdeler volgens dit schema op het oefenpaneel. Sluit de spanning nog niet aan.
- Bereken I, U_u en I_u en vul de gevonden waarden hieronder in:

  I = ☐ , U_u = ☐ , I_u = ☐

- Sluit de spanning E = 30 V aan en meet nu U_u en I_u.

  U_u = ☐ , I_u = ☐

  Kloppen de gemeten en berekende waarden?

- Bereken bij geopende schakelaar S de stroom I en de spanning U_u over de weerstand R_2.

  I = ☐ , U_u = ☐

- Meet I en U_u bij geopende schakelaar S. De stroommeter moet u verplaatsen. U vindt:

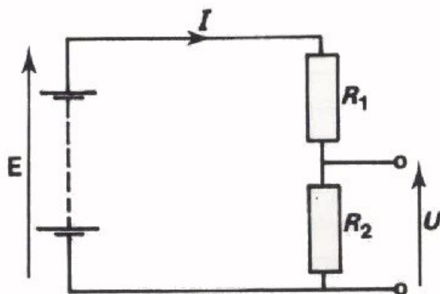
  I = ☐ , U_u = ☐

U hebt gevonden dat de toegevoerde stroom I en de spanning over R_2 veranderen, zodra men de spanningsdeler niet meer belast. Dit komt, omdat "de parallelschakeling van R_2 en R_u" dan verandert in "R_2 alleen".

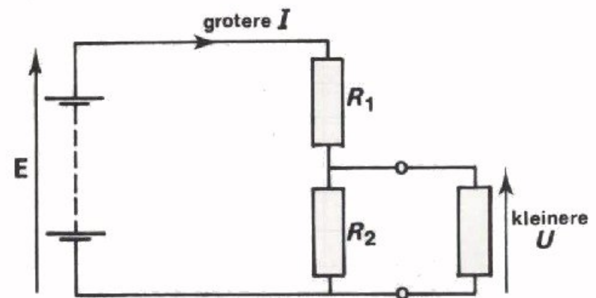
SAMENVATTING

- Een *gemengde schakeling* van weerstanden bestaat uit combinaties van in serie en parallel geschakelde weerstanden.
- Een ingewikkelde gemengde schakeling kan men vaak beter overzien en berekenen door:
  1. Het schema handiger te tekenen.
  2. Het *schema te vereenvoudigen.*

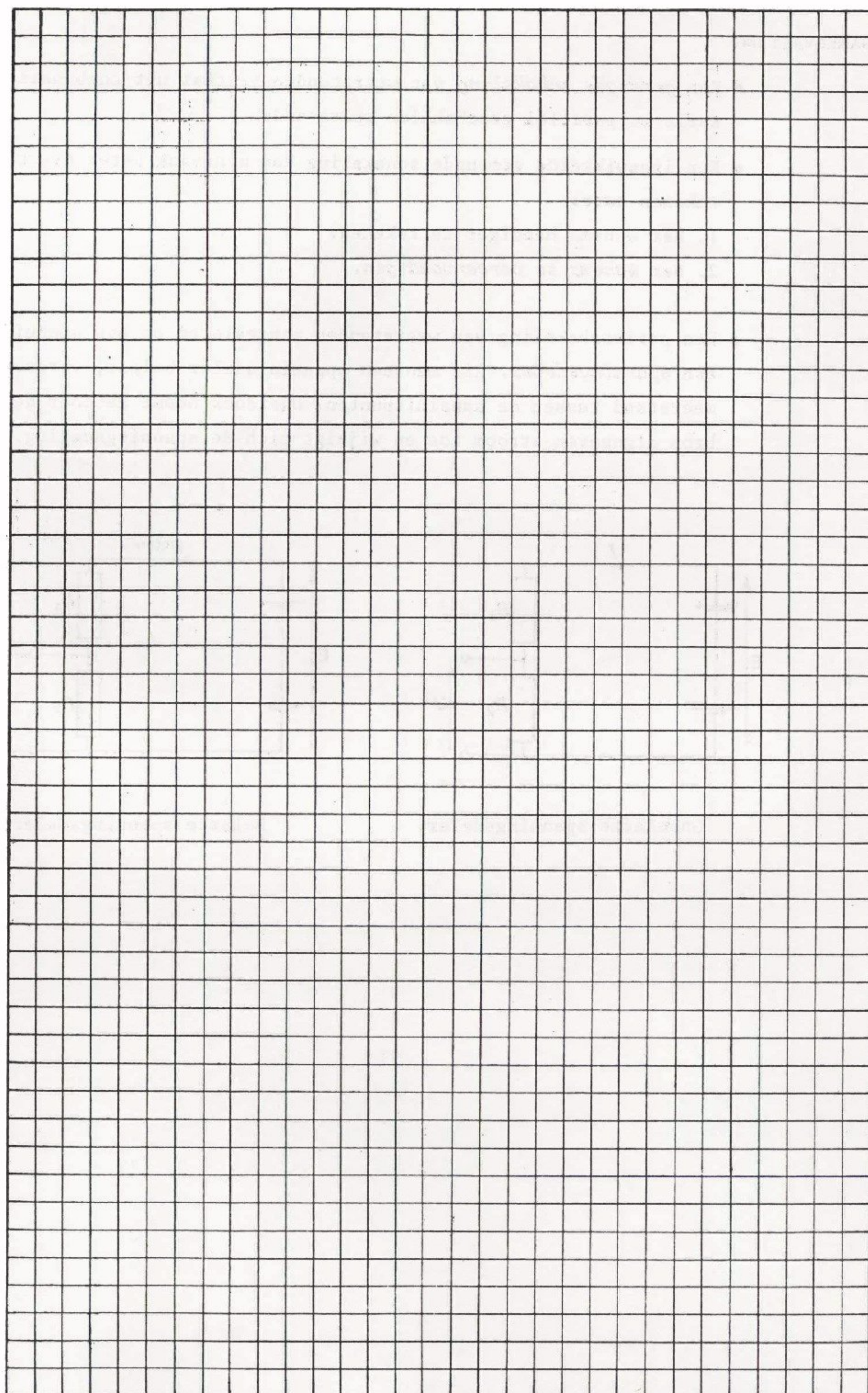
- Een serieschakeling van weerstanden aangesloten op een spanningsbron heet een *spanningsdeler.* Als men een spanningsdeler belast, verandert de weerstand tussen de aansluitpunten. Daardoor neemt de door de voedingsbron afgegeven stroom toe en wijzigt zich de spanningsdeling.



Onbelaste spanningsdeler.



Belaste spanningsdeler.



NAAM:

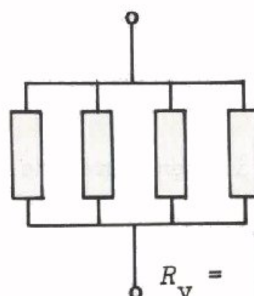
KLAS:

OEFENINGEN

1. In volgende schakelingen zijn combinaties gemaakt van vier gelijke weerstanden van 1 kΩ. Bereken in elk van deze gevallen de vervangingsweerstand R_v.

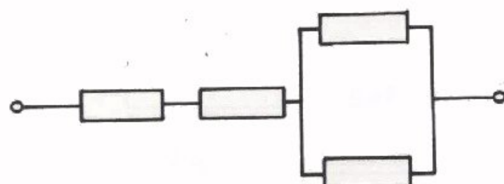
R_v =

(a)



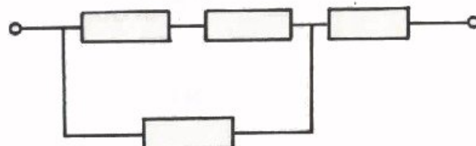
R_v =

(b)



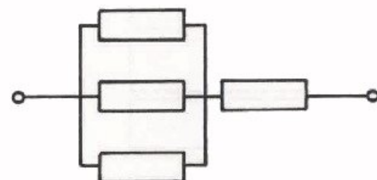
R_v =

(c)



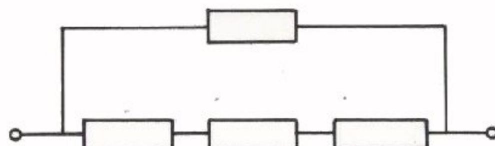
R_v =

(d)



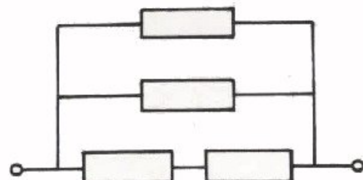
R_v =

(e)



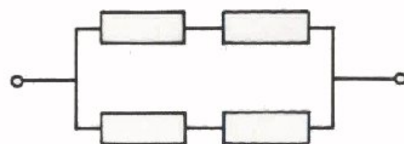
R_v =

(f)



R_v =

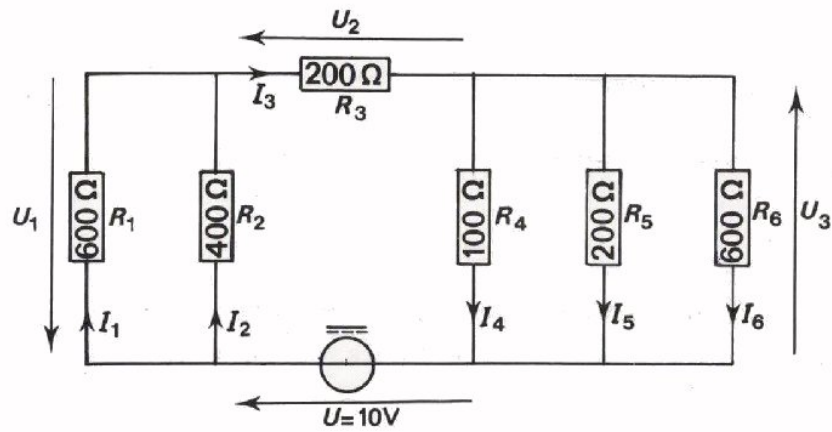
(g)



R_v =

(h)

2.



Hier is een gemengde schakeling van weerstanden gegeven.

Bereken:

- de totale weerstand R:
- de stroom I_3:
- de spanningen U_1:

  U_2:

  U_3:

- de stromen I_1:

  I_2:

  I_4:

  I_5:

  I_6:

Controleer of: $U_1 + U_2 + U_3 = U$,

$I_1 + I_2 = I_3$

en $I_3 = I_4 + I_5 + I_6$

A 18 ELEKTRISCH VERMOGEN

In les A15 zijn de - vrij moeilijke - begrippen *arbeid*, *energie* en *vermogen* aan de orde geweest. We vatten het daar geleerde nog eens beknopt samen.

- *ARBEID*

  is het produkt van de verplaatsing en de kracht in de richting van de verplaatsing.

$$W = F \cdot s$$

W arbeid (Nm)
F kracht (N)
s verplaatsing (m).

1 Nm	=	1 J	=	1 Ws
mechanisch		thermisch		elektrisch

- *ENERGIE*

  is "het in staat zijn" arbeid te verrichten.
  Energie-eenheden zijn dezelfde als arbeids-eenheden.

- *VERMOGEN*

  is arbeid per tijd.

$$P = \frac{W}{t}$$

P vermogen
W arbeid
t tijd

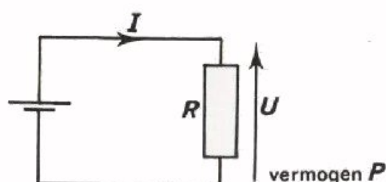
$1\ \frac{\text{Nm}}{\text{s}}$	=	1 J/s	=	1 W
mechanisch		thermisch		elektrisch

DE FORMULE $P = U.I$

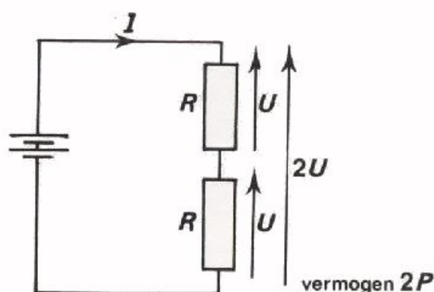
Als we een elektrische stroom door een weerstand sturen, dan wordt die weerstand warm. We weten dit uit ervaring; denk aan soldeerbouten, strijkijzers, elektrische kachels, boilers, enz.
we hebben gezien, dat warmte een vorm van energie is; warmte noemt men *thermische energie*. Het warm worden van een weerstand wordt veroorzaakt door de *elektrische energie* die we "erin stoppen".
Wat netter gezegd:

We voeren aan een weerstand *elektrische energie* toe en deze wordt omgezet in *thermische energie*.

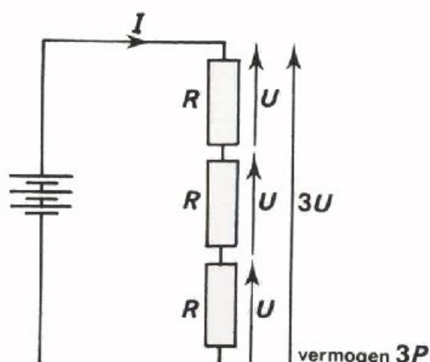
De elektrische energie die we aan een weerstand toevoeren hangt samen met de spanning over en de stroom door die weerstand. We gaan bekijken hoe dit precies zit.



Een weerstand R is aangesloten op een spanning U en er loopt een stroom I.
Aan deze weerstand voeren we daardoor een hoeveelheid elektrische energie - een aantal Ws - toe. Hoe langer dit duurt, des te meer elektrische energie er wordt toegevoerd.
Bekijken we echter de hoeveelheid energie die in een seconde toegevoerd wordt dan kunnen we spreken van het elektrisch vermogen - het aantal Watt - dat toegevoerd wordt (vermogen = arbeid per seconde). Dit vermogen noemen we P.



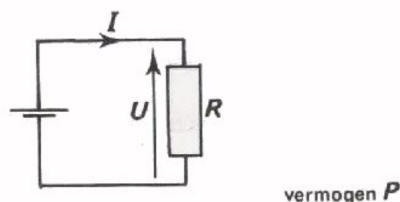
We schakelen vervolgens twee van deze weerstanden R in serie. Op de schakeling zetten we een tweemaal zo grote spanning $2U$, zodat we dezelfde stroom I verkrijgen. Aan elke weerstand wordt nu weer een elektrisch vermogen P toegevoerd. Dit betekent voor de gehele schakeling dus een vermogen $2P$.



Het zal duidelijk zijn dat door drie in serie geschakelde weerstanden R, aangesloten op een driemaal zo grote spanning $3U$ weer dezelfde stroom loopt. Er wordt nu een vermogen $3P$ aan de schakeling toegevoerd.

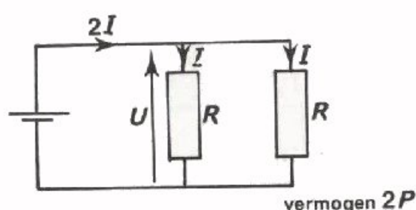
Bij de drie voorafgaande schakelingen was de stroom steeds I. Dit betekende dat de spanning achtereenvolgens U, $2U$ en $3U$ moest zijn.
Het toegevoerde vermogen was achtereenvolgens P, $2P$ en $3P$. Hieruit volgt:

het *elektrische vermogen* P is *evenredig* met de *spanning*, als de stroom dezelfde blijft.



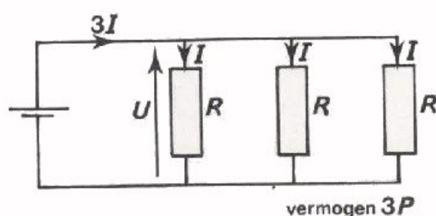
vermogen P

Nu gaan we anders redeneren. We houden de spanning constant. We gaan weer uit van een weerstand R die op een spanning U staat en waardoor een stroom I loopt. Het toegevoerde vermogen stellen we weer P.



vermogen $2P$

Zet men dezelfde spanning U op twee van deze weerstanden R parallel, dan is de totale stroom $2I$. Iedere weerstand krijgt een vermogen P toegevoerd. Het totaal aan de parallelschakeling toegevoerde vermogen is tweemaal zo groot, dus $2P$.



vermogen $3P$

Schakelt men drie weerstanden R parallel en zet men op deze schakeling weer een spanning U, dan is de totale stroom $3I$ en het totale vermogen $3P$.

Hieruit volgt:

het *elektrische vermogen* P is *evenredig* met de *stroom*, als de spanning dezelfde blijft.

We hebben nu gezien, dat het elektrisch vermogen P evenredig is met:

- de spanning U, bij constante I,
- de stroom I, bij constante U.

Dit kan men kort samenvatten in één formule: $P = U.I$

Is de spanning U gelijk aan 1 V en de stroom I aan 1 A, dan is het elektrisch vermogen 1 "volt-ampere", 1 VA.
1 VA noemen we meestal 1 watt, (W).

Dus:

$$\boxed{P = U.I}$$

P vermogen, watt (W)
U spanning, volt (V)
I stroom, ampere (A).

VOORBEELD

We hebben een weerstand van 100 Ω. Over deze weerstand staat een spanning van 6 V. Volgens de wet van Ohm is de stroom door deze weerstand:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6}{100} \text{ A.}$$

Aan de weerstand wordt een vermogen toegevoerd:

$$P = U.I = 6 \cdot \frac{6}{100} = \frac{36}{100} = 0{,}36 \text{ W.}$$

Als we nu op dezelfde weerstand van 100 Ω de spanning verdubbelen, dus 12 V maken, dan wordt de stroom:

$$I = \frac{12}{100} \text{ A.}$$

Het toegevoerde vermogen wordt:

$$P = 12 \cdot \frac{12}{100} = \frac{144}{100} = 1{,}44 \text{ W.}$$

We zien dus dat een *tweemaal* zo grote spanning een *viermaal* zo groot vermogen veroorzaakt in dezelfde weerstand. Dit komt, omdat bij verdubbeling van de spanning ook de stroom verdubbelt.

OEFENINGEN

1. Bereken de stroom door een lamp van 110 V/15 W.

   I =

2. Bereken het vermogen van een elektrische kachel die bij 220 V een stroom opneemt van 5 A.

   P =

3. Een elektrische kachel neemt 6 A op en een vermogen van 1,5 kW. Op welke spanning is de kachel aangesloten?

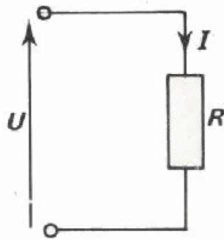
   U =

4. Welke stroom neemt een ¼ pk-motor op, die op 40 V is aangesloten?

   I =

5. Een 2,75 W-kerstboomlampje is bedoeld voor een stroom van 0,15 A. Hoeveel van deze lampjes kan men minimaal in serie op het 220 V-lichtnet aansluiten?

DE FORMULE $P = U.I$ IN ANDERE VORMEN



Op een weerstand R staat een spanning U die een stroom I door de weerstand veroorzaakt.

In deze les hebben we de formule voor het vermogen in deze weerstand gevonden:

$$P = U.I$$

We kennen al lang de wet van Ohm: $U = R.I$

Met behulp van de wet van Ohm kunnen we de formule voor het elektrisch vermogen anders schrijven:

Vermogensformule: $P = U.I$
waarin $U = R.I$ (wet van Ohm)
zodat $P = (R.I).I$
of $P = R.I^2$

Het elektrisch vermogen kan men dus ook schrijven als:

$$\boxed{P = R.I^2}$$

P vermogen (W)
R weerstand (Ω)
I stroom (A).

We kunnen het nog anders doen:

Vermogensformule: $P = U.I$
waarin $I = \frac{U}{R}$ (wet van Ohm)
zodat $P = U \cdot \frac{U}{R}$
of $P = \frac{U^2}{R}$

Het elektrisch vermogen is dus ook:

$$\boxed{P = \frac{U^2}{R}}$$

P vermogen (W)
U spanning (V)
R weerstand (Ω).

We hebben de formule voor het vermogen nu in drie vormen:

$$\boxed{P = U.I} \qquad \boxed{P = RI^2} \qquad \boxed{P = \frac{U^2}{R}}$$

Welke vorm we gebruiken hangt af van de gegevens die ter beschikking staan.

n	n^2	$\sqrt{n}$	n	n^2	$\sqrt{n}$
1	1	1,00	51	2601	7,14
2	4	1,41	52	2704	7,21
3	9	1,73	53	2809	7,28
4	16	2,00	54	2916	7,35
5	25	2,24	55	3025	7,42
6	36	2,45	56	3136	7,48
7	49	2,65	57	3249	7,55
8	64	2,83	58	3364	7,62
9	81	3,00	59	3481	7,68
10	100	3,16	60	3600	7,75
11	121	3,32	61	3721	7,81
12	144	3,46	62	3844	7,87
13	169	3,61	63	3969	7,94
14	196	3,74	64	4096	8,00
15	225	3,87	65	4225	8,06
16	256	4,00	66	4356	8,12
17	289	4,12	67	4489	8,19
18	324	4,24	68	4624	8,25
19	361	4,36	69	4761	8,31
20	400	4,47	70	4900	8,37
21	441	4,58	71	5041	8,43
22	484	4,69	72	5184	8,49
23	529	4,80	73	5329	8,54
24	576	4,90	74	5476	8,60
25	625	5,00	75	5625	8,66
26	676	5,10	76	5776	8,72
27	729	5,20	77	5929	8,78
28	784	5,29	78	6084	8,83
29	841	5,39	79	6241	8,89
30	900	5,48	80	6400	8,94
31	961	5,57	81	6561	9,00
32	1024	5,66	82	6724	9,06
33	1089	5,74	83	6889	9,11
34	1156	5,83	84	7056	9,17
35	1225	5,92	85	7225	9,22
36	1296	6,00	86	7396	9,27
37	1369	6,08	87	7569	9,33
38	1444	6,16	88	7744	9,38
39	1521	6,25	89	7921	9,43
40	1600	6,32	90	8100	9,49
41	1681	6,40	91	8281	9,54
42	1764	6,48	92	8464	9,59
43	1849	6,56	93	8649	9,64
44	1936	6,63	94	8836	9,70
45	2025	6,72	95	9025	9,75
46	2116	6,78	96	9216	9,80
47	2209	6,86	97	9409	9,85
48	2304	6,93	98	9604	9,90
49	2401	7,00	99	9801	9,95
50	2500	7,07	100	10 000	10,00

WORTELTREKKEN

"Verheffen tot de tweede macht" noemden we *kwadrateren.*
Het omgekeerde van kwadrateren is *worteltrekken.*

$7^2 = 49$

7 is de *wortel* uit 49.

We schrijven:

$7 = \sqrt{49}$.

Een aantal kwadraten kennen we van buiten, zodat we van een aantal getallen uit het hoofd de wortel kunnen schrijven.

Voorbeelden:

$\sqrt{1} = 1$	$\sqrt{100} = 10$	$\sqrt{400} = 20$
$\sqrt{4} = 2$	$\sqrt{121} = 11$	$\sqrt{625} = 25$
$\sqrt{9} = 3$	$\sqrt{144} = 12$	$\sqrt{900} = 30$
⋮	$\sqrt{169} = 13$	$\sqrt{1600} = 40$
	$\sqrt{196} = 14$	⋮
	$\sqrt{225} = 15$	$\sqrt{10\,000} = 100$.

De wortels uit de meeste getallen weten we niet uit het hoofd. Om deze wortels te weten te komen maken we gebruik van een tabel. Op het volgende blad vindt u zo'n tabel. In de eerste kolom staan de getallen n = 1, 2, 3 ... 100. In de tweede kolom de kwadraten n^2 van die getallen en in de derde de benadering van de wortels $\sqrt{n}$ uit die getallen.

Oefening.

Zoek in de tabel op:

$\sqrt{23} =$ ☐

$\sqrt{97} =$ ☐

$\sqrt{66} =$ ☐

$\sqrt{51} =$ ☐

In de tabel vindt u alleen de wortels uit de gehele getallen 1 tot en met 100. Wat nu te doen als u de wortel moet trekken uit een getal dat niet in de tabel staat?

Dit wordt duidelijk uit volgende voorbeelden; bestudeer deze grondig!

Voorbeelden:

- Hoe groot is het vermogen bij een weerstand $R = 100\ \Omega$ waar een stroom $I = 300$ mA door loopt? We gebruiken nu de tweede vorm:

$$P = R.I^2 = 100\ .\ (0,3)^2 = 9\ W.$$

- Een weerstand $R = 4\ k\Omega$ is aangesloten op een spanning van 220 V. Hoeveel bedraagt het in de weerstand ontwikkeld vermogen? We gebruiken de derde vorm:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(220)^2}{4000} = 12{,}1\ W.$$

- Welke spanning mag er maximaal staan over een weerstand van 100 Ω/0,5 W? We gebruiken de derde vorm:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$0{,}5 = \frac{U^2}{100}$$

$$\text{of } U^2 = 100.0{,}5 = 50$$

$$U = \sqrt{50} \approx 7\ V.$$

OEFENINGEN

1. Een strijkijzer-element van 40 Ω neemt een stroom op van 2,75 A. Hoe groot is het opgenomen vermogen?

   $P =$ ☐

2. Hoe groot is de weerstand van een lamp van 36 V/150 W?

   $R =$ ☐

3. Hoeveel stroom mag er maximaal lopen door een weerstand van 1 kΩ, waarvan is opgegeven, dat het vermogen maximaal 40 W mag zijn?

   $I =$ ☐

4. Hoeveel spanning mag er maximaal staan over een weerstand van 10 kΩ, waarvan is opgegeven, dat het vermogen maximaal 0,25 W mag zijn?

   $U =$ ☐

Bij de laatste twee vraagstukken krijgt u te maken met worteltrekken. Bij vraagstukken over vermogen krijgt men wel meer te maken met wortelvormen. In het volgende gaan we daarom eerst enige aandacht schenken aan het trekken van wortels.

• Eerst voorbeelden van worteltrekken uit getallen die tussen de getallen van de tabel in liggen.

$\sqrt{2,2} = ?$

In de tabel vinden we $\sqrt{2} = 1,41$

en $\sqrt{3} = 1,73$

$\sqrt{2,2}$ ligt hier tussenin en dicht bij 2

$\sqrt{2,2}$ is dus ongeveer: 1,5.

$\sqrt{14,6} = ?$

Uit de tabel blijkt $\sqrt{14} = 3,74$

en $\sqrt{15} = 3,87$

$\sqrt{14,6}$ ligt hier ongeveer midden tussenin, zodat

$\sqrt{14,6}$ ongeveer gelijk is aan: 3,8.

• Voorbeelden van wortels uit getallen boven de 100.

$\sqrt{200} = ?$

Voor $\sqrt{200}$ kunnen we schrijven $\sqrt{2.100} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{100}$

$\sqrt{200} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{100}$

$\sqrt{100}$ = 10, uit het hoofd

$\sqrt{2}$ = 1,41, zie tabel

$\sqrt{200} \approx 1,41 \times 10 \approx 14,1.$

$\sqrt{850} = \sqrt{8,5} \cdot \sqrt{100}$

$\sqrt{100}$ = 10

$\sqrt{8,5}$ ≈ 2,9, zie tabel

$\sqrt{850} \approx 2,9 \cdot 10 \approx 29.$

$\sqrt{56\ 000} = \sqrt{5,6} \cdot \sqrt{10\ 000}$

$\sqrt{10\ 000}$ = 100, uit het hoofd

$\sqrt{5,6}$ 2,4, zie tabel

$\sqrt{56\ 000} \approx 2,4 \times 100 \approx 240.$

Pas op!

Vaak komt men in de verleiding om b.v. $\sqrt{56\ 000}$ te schrijven als:

$$\sqrt{56} \cdot \sqrt{1000}$$

Dit is onhandig, want $\sqrt{1000}$ kent men niet uit het hoofd en bovendien $\sqrt{1000} \approx 31{,}6$ en dit laat zich niet gemakkelijk met $\sqrt{56}$ vermenigvuldigen. Zorg altijd voor *een macht van 10* met een *even* aantal nullen *onder het wortelteken!*

Dus:

$$\sqrt{100}, \qquad \sqrt{10\ 000}, \qquad \sqrt{1000\ 000} \quad \text{enz.}$$

De komma wordt telkens een even aantal plaatsen verzet.

$$\sqrt{3850} = \sqrt{3850{,}0} = \sqrt{38{,}50 \times 100}, \text{ enz.}$$

$$\sqrt{970\ 000} = \sqrt{970\ 000{,}0} = \sqrt{97 \times 10\ 000}, \text{ enz.}$$

- Tenslotte voorbeelden van wortels uit getallen tussen 0 en 1.

$$\sqrt{0{,}05} = \sqrt{\frac{5}{100}}.$$

Hiervoor mogen we schrijven: $\dfrac{\sqrt{5}}{\sqrt{100}} \approx \dfrac{2{,}24}{10} = 0{,}224.$

$$\sqrt{0{,}0061} = \sqrt{\frac{61}{10\ 000}} = \frac{\sqrt{61}}{\sqrt{10\ 000}} \approx \frac{7{,}81}{100} = 0{,}0781.$$

Ook hier is er weer voor gezorgd, dat telkens een *macht van 10* met een *even* aantal nullen *onder het wortelteken* verschijnt. Ook nu wordt de komma telkens een *even* aantal plaatsen verzet.

Dit laatste is van groot belang in volgende voorbeelden:

$$\sqrt{0{,}7} = \sqrt{0{,}70} = \sqrt{\frac{70}{100}} = \frac{\sqrt{70}}{\sqrt{100}} = \frac{8{,}37}{10} = 0{,}837.$$

$$\sqrt{0{,}000\ 08} = \sqrt{0{,}000\ 080} = \sqrt{\frac{80}{1000\ 000}} = \frac{8{,}94}{1000} = 0{,}008\ 94.$$

NOG ENIGE VOORBEELDEN VAN WORTELVORMEN

Let goed op het onderscheid in de volgende gevallen:

$\sqrt{3,5}$ ligt ongeveer midden tussen $\sqrt{3} = 1,73$
en $\sqrt{4} = 2,00$,

zodat $\sqrt{3,5} \approx 1,85$.

$\sqrt{35} = 5,92$, zie tabel

$\sqrt{350} = \sqrt{3,5} \cdot \sqrt{100} \approx 1,85 \cdot 10 = 18,5.$

$\sqrt{3500} = \sqrt{35} \cdot \sqrt{100} \approx 5,92 \cdot 10 = 59,2.$

$$\sqrt{0,35} = \sqrt{\frac{35}{100}} = \frac{\sqrt{35}}{\sqrt{100}} \approx \frac{5,92}{10} = 0,592.$$

$$\sqrt{0,035} = \sqrt{\frac{3,5}{100}} = \frac{\sqrt{3,5}}{\sqrt{100}} \approx \frac{1,85}{10} = 0,185.$$

$$\sqrt{0,0035} = \sqrt{\frac{35}{10\ 000}} = \frac{\sqrt{35}}{\sqrt{10\ 000}} \approx \frac{5,92}{100} = 0,0592.$$

OEFENINGEN

Voer de berekeningen uit op een afzonderlijk vel papier en zet de gevonden uitkomsten in de daarvoor bestemde hokjes.

1. $\sqrt{89,0}$ = [ ]
2. $\sqrt{8,92}$ = [ ]
3. $\sqrt{0,3}$ = [ ]
4. $\sqrt{430}$ = [ ]
5. $\sqrt{5807}$ = [ ]
6. $\sqrt{0,077}$ = [ ]
7. $\sqrt{0,098}$ = [ ]
8. $\sqrt{11\ 300}$ = [ ]
9. $\sqrt{0,000\ 76}$ = [ ]
10. $\sqrt{662,9}$ = [ ]

SAMENVATTING

- Als men elektrische energie toevoert aan een weerstand, wordt deze energie direct omgezet in warmte.
- De elektrische energie per seconde of het *elektrisch vermogen* is gelijk aan:

$$P = U.I$$

P vermogen (W)
U spanning (V)
I stroom (A)

- De formule voor het elektrisch vermogen kan men ook schrijven als:

$$P = RI^2 \quad \text{of als} \quad P = \frac{U^2}{R}$$

P vermogen (W)
U spanning (V)
I stroom (A)
R weerstand (Ω)

- De eenheid van elektrische *arbeid* of *energie* is "wattseconde" (Ws).
- De eenheid van elektrisch *vermogen* = *energie per seconde* is "watt" (W).

NAAM: ________________ KLAS: ________

OEFENINGEN

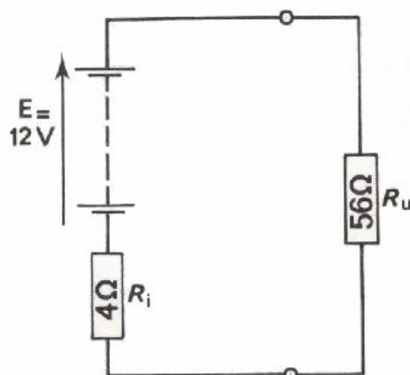
1. Twee strijkboutelementen 220 V/60 W staan in serie op het 220 V-lichtnet. Hoe groot is het opgenomen vermogen in deze twee elementen samen?

   P =

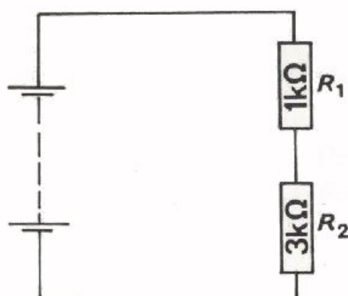
   Als men deze elementen vervolgens parallel op 220 V aansluit, hoe groot is dan het vermogen?

   P =

2. Een lamp van 110 V/25 W wil men aansluiten op een spanning van 220 V. Men maakt daarbij gebruik van een serieweerstand. Een hoeveel watt weerstand moet men daarvoor nemen?

3. 

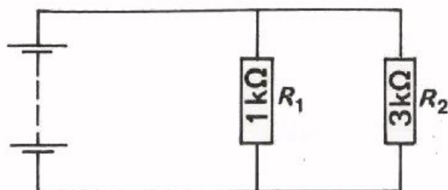
   Men heeft 56 Ω-weerstanden van 0,5 W; 1 W; 2,5 W en 5 W. Welke weerstand kiest u voor de R_u in deze schakeling?

4. 

   Aan R_1 wordt een vermogen van 36 W toegevoerd. Welk vermogen wordt dan aan R_2 toegevoerd?

   P =

5.



In R_1 ontstaat 36 W aan warmte per seconde. Hoeveel ontstaat er in R_2?

P =

6. Een voltmeter - 50 000 Ω/V - staat op het 12 V-bereik en wijst 9 V aan. Hoe groot is het aan de meter toegevoerde vermogen in μW?

P =

7. Een ampèremeter heeft bij volle schaal uitslag een spanningsverlies van 60 mV. Deze meter staat op een bereik van 60 mA en wijst 50 mA aan. Hoeveel vermogen wordt aan de meter toegevoerd?

P =

A 19 ELEKTRISCHE EN THERMISCHE ENERGIE

ELEKTRISCHE ENERGIE

In les A18 hebben we het gehad over elektrisch "vermogen" of "energie per seconde". We hebben gezien, dat het elektrisch vermogen gelijk is aan:

$$\boxed{P = U.I = RI^2 = \frac{U^2}{R}}$$

P vermogen (W)
U spanning (V)
I stroom (A)
R weerstand(Ω).

In les A15 zijn de begrippen "arbeid" en "vermogen" besproken. Het verband tussen deze grootheden is:

$$\text{Vermogen} = \frac{\text{Arbeid}}{\text{Tijd}}.$$

We kunnen dan ook zeggen, dat:

Arbeid = Vermogen x Tijd.

In formulevorm:

$$\boxed{P = \frac{W}{t}} \qquad \boxed{W = P \times t}$$

P vermogen
W arbeid
t tijd

Verwar de *grootheid* W niet met de *eenheid* W!
De elektrische energie - of de elektrische arbeid - vinden we dus door het elektrisch vermogen te vermenigvuldigen met de tijd.
In formule:

$$\boxed{W = U.I.t = RI^2t = \frac{U^2}{R}\,t}$$

W elektrische energie (Ws)
U spanning (V)
I stroom (A)
R weerstand (Ω)
t tijd (s).

De eenheden van elektrisch vermogen en elektrische arbeid verwart men dikwijls. Dit is onnodig, immers:

vermogen x tijd = arbeid
watt x seconde = wattseconde.

WARMTE

Als men elektrische energie aan een weerstand toevoert, wordt deze energie onmiddellijk omgezet in thermische energie of warmte. Het toevoeren van elektrische energie komt zo op hetzelfde neer als het toevoeren van warmte. Hoeveelheden warmte drukt men uit in "joule", J. Voert men 1 Ws elektrische energie toe aan een weerstand, dan ontstaat in deze weerstand 1 J thermische energie. Hoeveelheden warmte drukt men nog vaak uit in de ouderwetse eenheid: "calorie". Aangezien 1 Ws = 0,24 cal, kan men de formules voor de elektrische energie ook schrijven als:

$$W = 0{,}24\ U.I.t \quad \text{(cal)}$$
$$= 0{,}24\ R.I^2.t \quad \text{(cal)}$$
$$= 0{,}24\ \frac{U^2}{R}\ t \quad \text{(cal)}$$

waarin weer: U spanning (V)
I stroom (A)
R weerstand (Ω)
t tijd (s).

Voorbeeld.

Op een weerstand van 100 Ω staat een spanning van 6 V. Hoeveel calorieën worden er in een half uur ontwikkeld in deze weerstand?

$$= 0{,}24\ \frac{U^2}{R}\ t \text{ cal}$$
$$= 0{,}24\ \frac{36}{100}\ (30.60) \approx 156 \text{ cal.}$$

↑ seconden

DE WARMTECAPACITEIT

Als men aan een weerstand, een kookplaat, een gloeidraad, enz., elektrische energie toevoert, dan wordt er warmte ontwikkeld. Deze warmteontwikkeling veroorzaakt een stijging van temperatuur. Hoe groot de temperatuursstijging is bij toevoer van een bepaalde hoeveelheid energie hangt vooral af van de hoeveelheid materie die men wil verhitten.

Als men b.v. 1000 Ws toevoert aan 1 g koper,
dan zal deze warmer worden dan 100 g koper.

De temperatuursstijging bij toevoer van een bepaalde hoeveelheid energie hangt ook af van het soort materiaal.

Men gebruikt daarom het begrip *warmtecapaciteit*. Onder de warmtecapaciteit van een voorwerp verstaat men het aantal calorieën dat men aan dit voorwerp moet toevoeren om zijn temperatuur 1 °C te laten toenemen.
Hoe meer massa een voorwerp heeft, des te meer calorieën zijn er nodig om zijn temperatuur 1 °C te laten stijgen en des te groter is zijn warmtecapaciteit. Ook het materiaal waarvan het voorwerp gemaakt is heeft invloed op de warmtecapaciteit.

Voorbeelden:

De warmtecapaciteit van 1 kg koper is: 93 cal/°C
van 1 kg porcelein is: 260 cal/°C.

Onthoud:

De warmtecapaciteit van 1 liter water of 1 kg water is 1000 calorieën per °C.

Om 1 l water 1 °C in temperatuur te laten stijgen zijn dus 1000 cal no

VOORBEELD

Een elektrische waterketel 220 V/400 W heeft zelf een warmtecapaciteit van 150 cal/^{0}C. Men vult deze ketel met 0,85 l water van 20^{0}C. Hoe lang duurt het om het water aan de kook te brengen?

De warmtecapaciteit van de ketel is: 150 cal/^{0}C
en van het water: 850 cal/^{0}C
totaal dus: 1000 cal/^{0}C.

Het geheel moet van 20^{0}C naar 100^{0}C in temperatuur stijgen, dus 80^{0}C. Hiervoor zijn nodig:

$$80 \times 1000 = 8.10^4 \text{ cal}$$

In formule is de toegevoerde elektrische energie: 0,24 $(U.I)t$ cal.

Dus: $8.10^4 = 0{,}24\ (400\ )t$

$$t = \frac{8.10^4}{0{,}24\ \ (400)} = 833 \text{ s}$$

$$\text{of } \ t = \frac{833}{60} \approx 14 \text{ minuten.}$$

OEFENING

Een elektrisch kooktoestel heeft zelf een warmtecapaciteit van 200 cal/^{0}C. Het is voorzien van een verwarmingselement van 785 W. Hoe lang duurt het om met dit toestel 1,5 l water van 15^{0}C tot 75^{0}C te verwarmen?

De totale warmtecapaciteit is:	cal/^{0}C
Voor verwarming zijn nodig:	cal
De verwarming duurt:	s = min.

DE kWh

In elke huisinstallatie bevindt zich een z.g. "kilo-watt-uur"-meter waarmee het elektriciteitsbedrijf vaststelt hoeveel energie per maand of per twee maanden wordt geleverd.

"kilo-watt-uur", kort men af tot: kWh
h betekent hier "uur".

Hoeveel energie is 1 kWh?

1 h = 60 minuten
1 minuut = 60 seconden, zodat 1 h = 3600 s
1 kWh = 3600 kWs
$= 3600.10^3$ Ws $= 3,6.10^6$ Ws.

Om een indruk te krijgen van een energie-hoeveelheid van 1 kWh geven we enige voorbeelden van prestaties die 1 kWh kan verrichten.

- Als een 100 W-lamp gedurende 1 seconde brandt, dan verbruikt hij 100 Ws.
  Brandt hij 1 uur, dan is het verbruik 100 Wh.
  Met een energie van 1 kWh kan een 100 W-lamp dus:

  $\frac{1000 \text{ Wh}}{100 \text{ W}} = 10$ uur branden.

- Een 400 W-broodrooster kan met een energie van 1 kWh gedurende:

  $\frac{1000 \text{ Wh}}{400 \text{ W}} = 2,5$ uur in bedrijf zijn.

  Roostert men per dag 6 minuten brood, dan kan men met 1 kWh gedurende 25 dagen roosteren.

- 1 kWh $= 3,6.10^6$ Ws $= 0,24.3,6.10^6$ cal. Om 1 l water 1^0C te verwarmen zijn 1000 cal nodig. Met 1 kWh kan men dus:

  $\frac{0,24 \;.\; 3,6 \;.\; 10^6}{1000} = 864$ l 1^0C verwarmen.

  Of men kan 8,64 l 100^0C verwarmen.

OEFENINGEN

1. Een weerstand neemt bij 30 V een stroom op van 100 mA. Het opgenomen vermogen is:

   W

2. Een 50 W-theelichtje brandt gedurende 15 minuten. In deze tijd produceert het:

   cal.

3. Een elektrische kachel van 220 V/550 W neemt een stroom op van:

4. Hoe lang duurt het om met een verwarmingselement van 200 W een liter water van 20°C aan de kook te brengen?

   min.

5. 1 kWh kost 8 cent. Hoeveel bedragen de energiekosten van een 1500 W - vaatwasmachine, die men gedurende 1 jaar (365 dagen) 2 uur per dag gebruikt?

   gulden

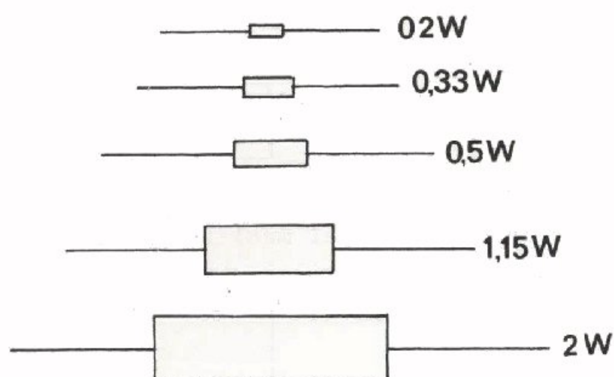
HET WARM WORDEN VAN EEN WEERSTAND

Als men gedurende enige tijd een stroom aan een weerstand toevoert, zal zijn temperatuur stijgen. De temperatuur wordt hoger dan de omgevingstemperatuur en de weerstand gaat warmte afstaan aan zijn omgeving. Wordt het temperatuursverschil met de omgeving groter dan zal de weerstand meer warmte per seconde aan de omgeving afstaan. Na enige tijd ontstaat er een *evenwichtstoestand*, waarbij het toegevoerde vermogen $P = U.I$ even groot is als de per seconde aan de omgeving afgegeven warmte-energie. Hoe groter het toegevoerde vermogen $P = U.I$ is, des te hoger de temperatuur is waarbij deze evenwichtstoestand optreedt. Het zal duidelijk zijn, dat men niet zóveel elektrisch vermogen mag toevoeren dat de temperatuur te sterk oploopt. Voordat er zich een evenwichtstoestand heeft ingesteld zal de weerstand dan reeds in rook zijn opgegaan! Men geeft dan ook voor elke weerstand het vermogen op dat men maximaal mag toevoeren. *Koolweerstanden* worden gemaakt voor vermogens van: 0,2 W, 0,33 W, 0,5 W, 0,67 W, 1,15 W en 2 W.

Draadweerstanden heeft men o.a. van 4,2 W, 7 W en 17 W.

In de praktijk spreekt men vaak van de maximale *dissipatie* van een weerstand. Daarmee bedoelt men dan het maximale aantal watt dat aan de weerstand mag worden toegevoerd.

De afmetingen van een weerstand zijn groter naarmate zijn maximale dissipatie hoger ligt. Dit is begrijpelijk, want grotere afmetingen betekent een grotere warmtecapaciteit. Er is dus meer warmte nodig om de temperatuur 1^0C te laten stijgen.



Om een indruk te krijgen zijn hiernaast enige weerstanden weergegeven met verschillende maximale dissipatie.

OPDRACHT: VERMOGEN VAN WEERSTANDEN

- Bereken de maximaal toelaatbare spanning en de maximaal toelaatbare stroom voor een weerstand van 560 Ω/0,2 W.

U_{max} = [ ]

I_{max} = [ ]

- Doe hetzelfde voor een weerstand van 270 Ω/0,5 W.

U_{max} = [ ]

I_{max} = [ ]

- Herhaal de berekening voor een weerstand van 270 Ω/1,15 W.

U_{max} = [ ]

I_{max} = [ ]

- Voer aan de weerstand van 560 Ω de door u berekende stroom I_{max} toe. Voel of hij na enige tijd warm wordt.

- Voer aan dezelfde weerstand een stroom 5 I_{max} toe en constateer wat er na enige tijd gebeurt. Hoeveel maal zo groot is het vermogen dat u nu toevoert?

[ ] maal zo groot.

- Voer aan de weerstand van 270 Ω/0,5 W de door u berekende stroom I_{max} toe en daarna 4 I_{max}. Wat constateert U? Hoeveel maal zo groot wordt het toegevoerde vermogen als u i.p.v. I_{max} een stroom 4 I_{max} gaat toevoeren?

[ ] maal zo groot.

- Voer aan de weerstand van 270 Ω/1,15 W de berekende stroom I_{max} toe en daarna 3 I_{max}. Wat constateert u? Hoeveel maal zo groot wordt het toegevoerde vermogen als u van I_{max} naar 3 I_{max} gaat?

[ ] maal zo groot.

OEFENINGEN

1. Hoe groot is de maximale stroom bij een 10 kΩ/1 W weerstand?

I_{max} =

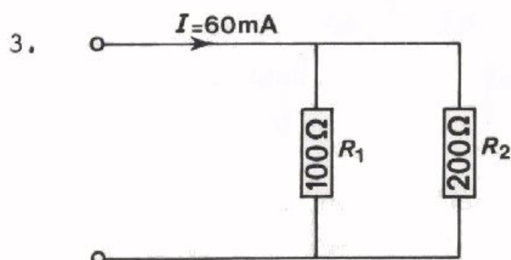
Hoeveel spanning mag er maximaal over deze weerstand staan?

U_{max} =

2. Over een ¼ W-weerstand staat een spanning van 500 V. Welke is de kleinste waarde die deze weerstand mag hebben?

$R \geqslant$

3.

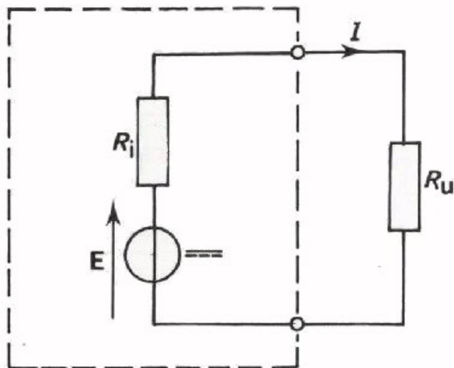


Het in R_1 ontwikkelde vermogen is:

Het in R_2 ontwikkelde vermogen is:

4. Hoeveel bedragen de energiekosten van een 1 pk-motor die gedurende 6 uur in bedrijf is? 1 kWh kost 8 cent.

HET VERMOGEN VAN EEN VOEDINGSBRON



Hier is een voedingsbron getekend met E.M.K. E en inwendige weerstand R_i. Op de voedingsbron is uitwendig een belastingsweerstand R_u aangesloten, waardoor een stroom I loopt. Deze stroom bedraagt:

$$I = \frac{E}{R_i + R_u}.$$

Hoe groot is het vermogen dat de voedingsbron levert aan de weerstand R_u? Dit vermogen is: $P_u = R_u I^2$ (W).

Per seconde wordt er dus in de weerstand R_u een hoeveelheid warmte ontwikkeld: $R_u I^2$ (Ws of J).

De stroom I loopt ook door de inwendige weerstand R_i. Ook *binnen* de voedingsbron wordt dus warmte ontwikkeld. De inwendige warmte-ontwikkeling bedraagt per seconde:

$$P_i = R_i I^2 \text{ (W)}.$$

Hoe meer stroom er wordt geleverd door de bron, des te groter is deze inwendige warmte-ontwikkeling. Er wordt maximaal warmte ontwikkeld binnen de voedingsbron als men de bron kortsluit. Buiten de bron wordt dan geen warmte ontwikkeld, want $R_u = 0$.

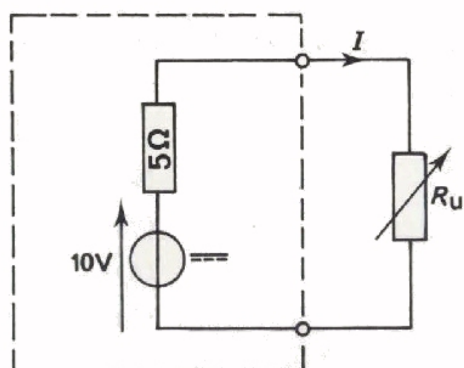
De maximale inwendige warmte-ontwikkeling bedraagt per seconde:

$$P_{i\ max} = \frac{E^2}{R_i}.$$

Overigens mag men de meeste voedingsbronnen niet kortsluiten, omdat zij bij zoveel inwendige warmte-ontwikkeling defect raken.

Een bron levert dus in totaal een vermogen $P = P_i + P_u$ naar binnen en naar buiten.

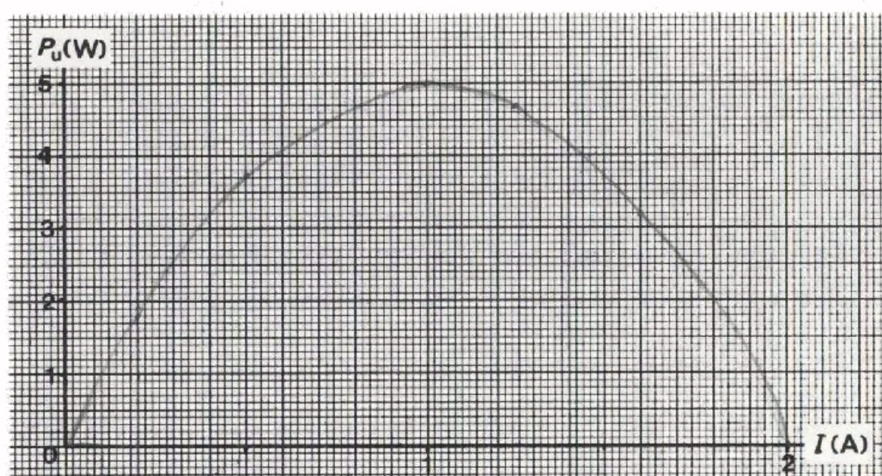
OEFENING



Op deze voedingsbron is een veranderlijke uitwendige weerstand R_u aangesloten.
Bereken I, P_u en P_i bij de waarden van R_u uit de volgende tabel.

R_u (Ω)	I (A)	P_u (W)	P_i (W)
∞			
45			
15			
5			
3			
1,25			
0			

Zet in de volgende grafiek de bij elkaar behorende waarden van P_u en I uit en verbind de punten door een vloeiende lijn.



- Lees uit de grafiek af bij welke stroom I het vermogen P_u maximaal is.

I =

- Bij welke waarde van R_u is P_u maximaal?

R_u =

Merk op, dat het uitwendig vermogen P_u maximaal is als: $R_u = R_i$.

SAMENVATTING

- De elektrische energie per seconde of het elektrisch *vermogen* is gelijk aan:

$$P = U.I = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

P	vermogen	(W)
U	spanning	(V)
I	stroom	(A)
R	weerstand	(Ω).

- Als men elektrische energie aan een weerstand toevoert, dan wordt deze onmiddellijk omgezet in thermische energie of warmte.
  De elektrische energie of de elektrische "arbeid" bedraagt:

$$W = U.I.t = RI^2t = \frac{U^2}{R}\,t$$

W	energie	(Ws)
U	spanning	(V)
I	stroom	(A)
R	weerstand	(Ω)
t	tijd	(s).

- Drukt men de energie uit in calorieën, dan geldt:

$$W = 0{,}24\ U.I.t = 0{,}24\ RI^2t = 0{,}24\ \frac{U^2}{R}\ t\ \text{(cal)}$$

- De *warmtecapaciteit* van een hoeveelheid materie is het aantal calorieën dat men moet toevoeren om de temperatuur 1^0C te laten stijgen.
- De warmtecapaciteit van 1 l water is 1000 cal/^{0}C.
- Bij weerstanden moet men letten op de maximale *dissipatie*. Dit is het maximaal toelaatbare vermogen dat men aan een weerstand mag toevoeren. Komt men daarboven, dan wordt de weerstand te warm en kan zelfs defect raken.
- Als een voedingsbron stroom levert aan een uitwendige weerstand R_u, dan loopt deze stroom ook door zijn eigen inwendige weerstand R_i. Hierdoor treedt ook binnen de voedingsbron warmte-ontwikkeling op. Deze warmte-ontwikkeling is het grootst bij kortsluiting en per seconde gelijk aan $P_{i\ max} = E^2/R_i$.
- Een voedingsbron levert een maximaal vermogen als $R_u = R_i$.

NAAM:

KLAS:

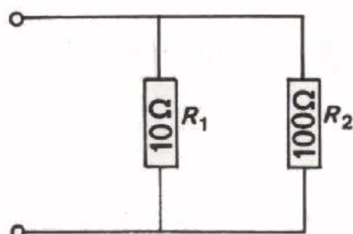
OEFENINGEN

1. Een vermogen van 100 W wordt gedurende 5 minuten geleverd. Hoe groot is de geleverde energie?

2. Een 220 V/150 W gloeilamp brandt gedurende 10 uur. De prijs van 1 kWh is f 0,10. Hoeveel bedragen de verbruikskosten van de gloeilamp?

3. Een boiler bevat 80 l water. De warmtecapaciteit van de boiler is 1000 cal/^{0}C. De boiler bevat een 1250 W-verwarmingselement. Hoe lang duurt het om het water van 20^{0}C naar 80^{0}C te verwarmen?

4. Een weerstand van 200 Ω is aangesloten op een spanning van 8 V. Welk vermogen wordt in de weerstand ontwikkeld?

5. 

In R_1 wordt een vermogen ontwikkeld van 1 W. Welk vermogen wordt in R_2 ontwikkeld?

6. Een batterij met E = 6 V en R_i = 1 Ω levert een vermogen aan een uitwendige weerstand R_u. Hoeveel bedraagt het maximale vermogen dat de batterij aan R_u kan leveren?

Hoe groot is het maximale vermogen dat de batterij inwendig in warmte kan omzetten?

7. Men wil een element voor een soldeerbout maken. Het moet een 100 W-bout worden voor een spanning van 8 V. Bereken hoe groot de stroom gaat worden.

Hoe groot is de weerstand dan?

Voor het element beschikt men over chroom-nikkeldraad met ρ = 1,1 Ωmm²/m. Volgende diameters zijn voorradig;

0,2;	0,22;	0,25;	0,28;	0,32;	0,36;	0,45;
0,50;	0,56;	0,63;	0,70;	0,80;	en 1 mm.	

Per mm² doorsnede mag de stroom hoogstens 25 A zijn.

Hoe groot moet de doorsnede van de draad minstens zijn?

mm²

Welke draaddiameter zult u kiezen?

mm

Hoe lang moet de draad zijn?

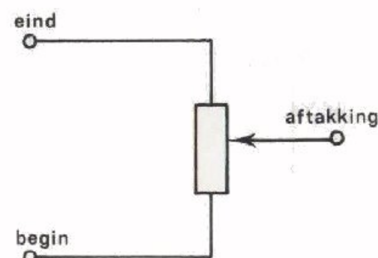
cm

A 20 SPANNINGSDELER EN BRUG VAN WHEATSTONE

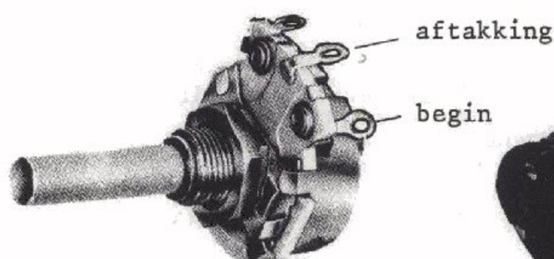
POTENTIOMETERS

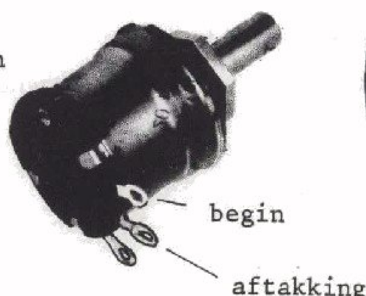
Een potentiometer is een weerstand met een verschuifbare *aftakking*. Hij heeft *drie* aansluitingen:

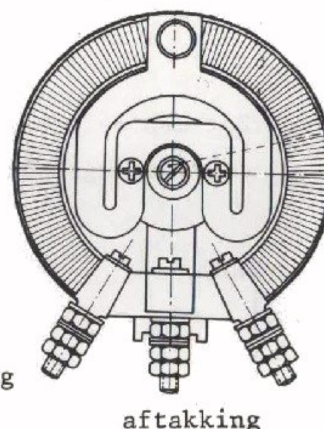
- het begin van de weerstand,
- de aftakking,
- het eind van de weerstand.

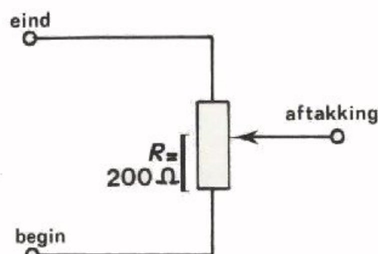


Hieronder zijn enige *draai*potentiometers afgebeeld. De aansluiting voor de aftakking of *loper* zit steeds in het midden.









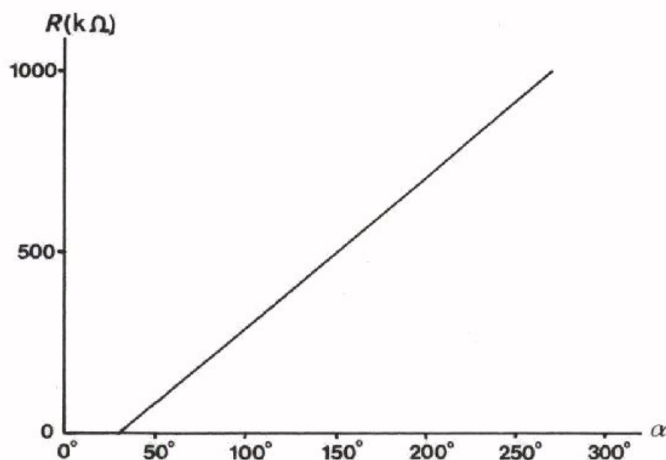
Afspraken:

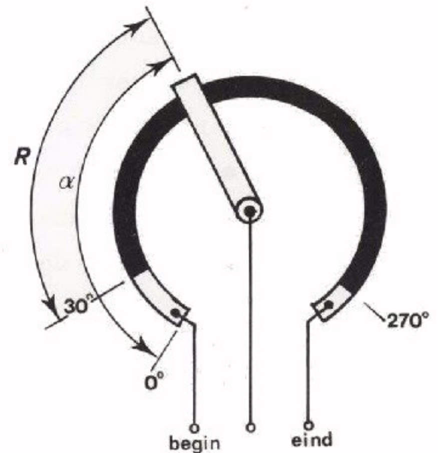
- Het "begin" van de potentiometer is het uiteinde waarmee de loper is doorverbonden als de as geheel naar links is gedraaid.
- Als een draaipotentiometer is ingesteld op een waarde van b.v. 200 Ω, dan bevindt zich deze 200 Ω tussen "begin" en "aftakking".

In plaats van "potentiometer" zegt men ook kortweg "potmeter".

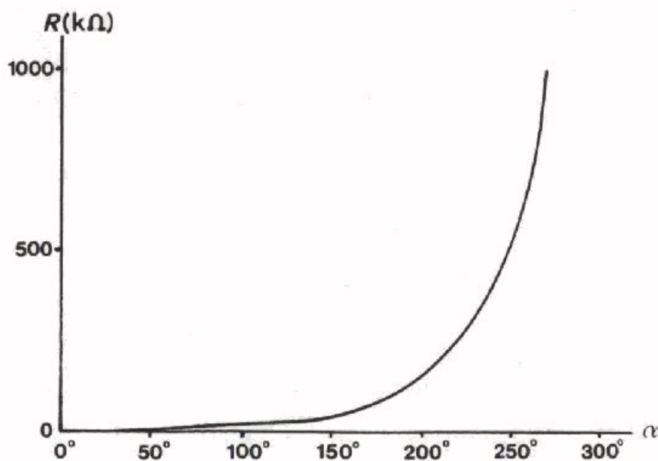
LINEAIRE EN LOGARITMISCHE POTENTIOMETERS

Men fabriceert *lineaire* en *logaritmische* draaipotentiometers. Zet men bij een lineaire draaipotentiometer de weerstand R en de draaiingshoek α - spreek uit "alfa" - uit in een grafiek, dan ontstaat een rechte lijn.



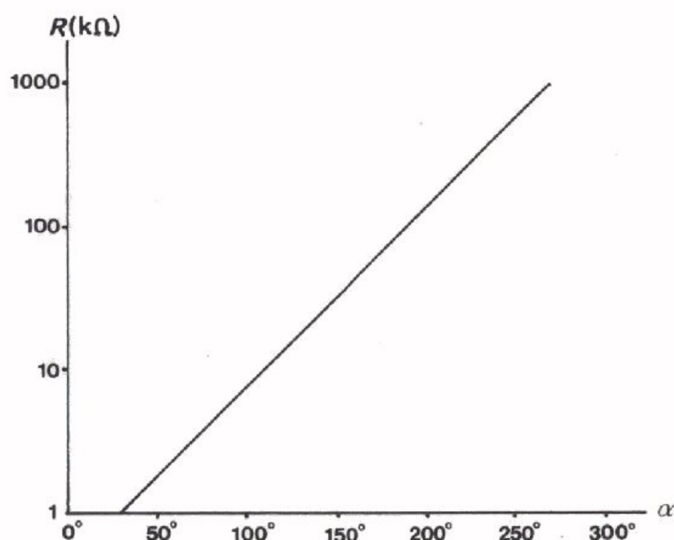


Zet men de weerstandswaarde R van een logaritmische potentiometer uit tegen de draaiingshoek α, dan ontstaat volgende grafiek.



In deze grafiek ziet u, dat bij draaien vanuit de beginstand van de potentiometer de weerstand eerst weinig toeneemt en bij verder draaien steeds sterker toeneemt.

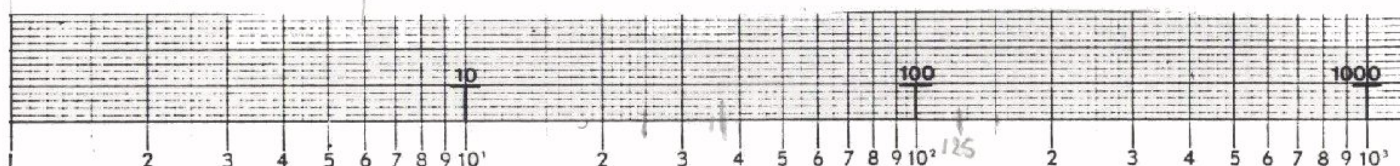
De vorige grafiek is hieronder nogmaals getekend, maar nu is de weerstandswaarde R langs de verticale as *logaritmisch* uitgezet.



Door deze "truc" wordt de sterk gekromde lijn uit de grafiek op het vorige blad een rechte lijn.

KENMERKEN VAN DE LOGARITMISCHE SCHAAL

Hieronder is een logaritmische schaal getekend:



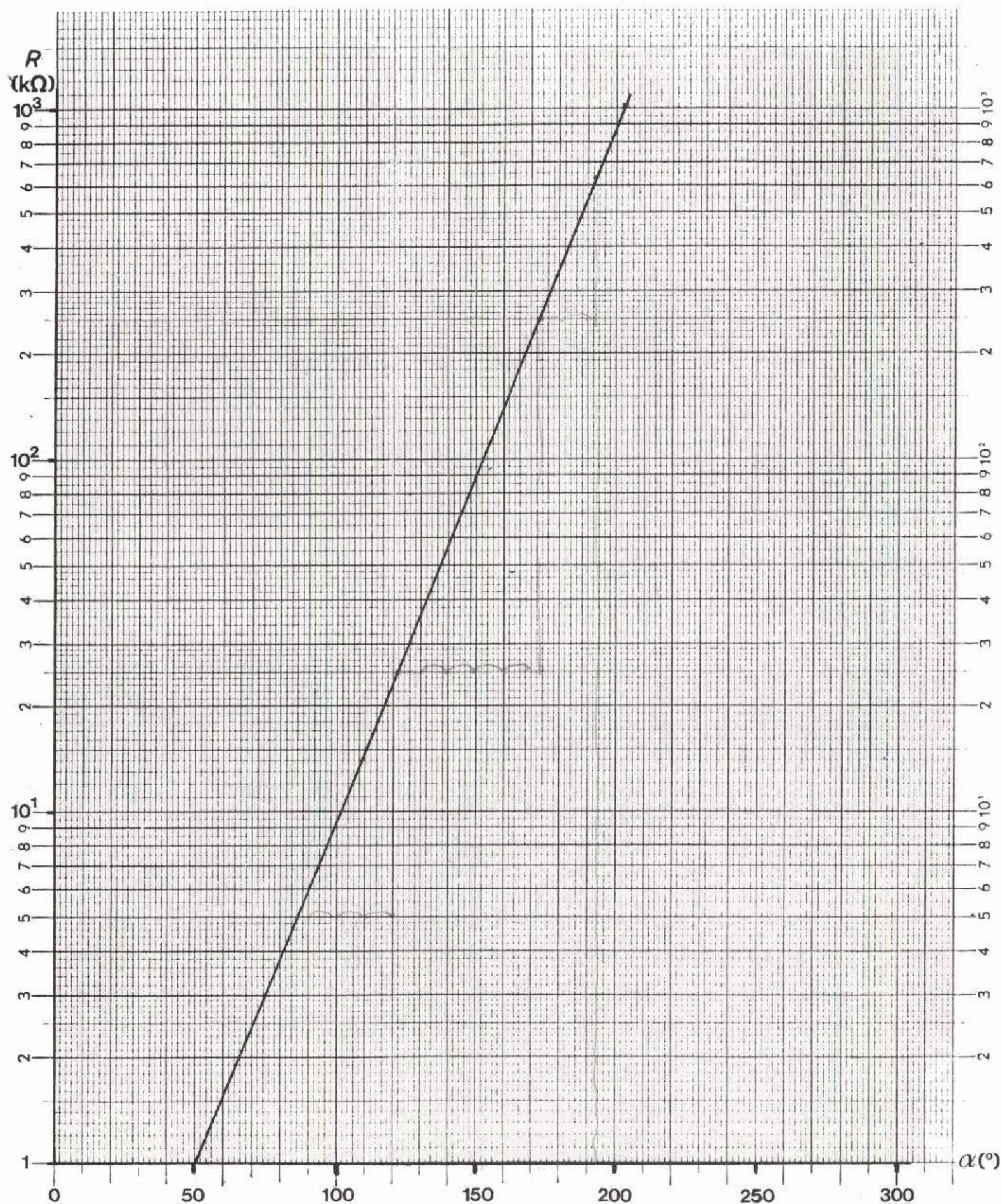
Het meest opvallende bij deze schaal is, dat de afstanden 1 tot 10, van 10 tot 100, van 100 tot 1000, enz. alle even groot zijn. Om op een 10 maal zo groot getal te komen moet men langs de schaal telkens een even grote afstand afleggen. Iets dergelijks geldt ook voor andere factoren dan 10. Op de schaal is de afstand van 1 tot 3 even groot als die van 3 tot 9 en even groot als die van 9 tot 27, enz. De afstand van 1 tot 4 is even groot als die van 4 tot 16 en even groot als die van 16 tot 64, enz.

Vul zelf in: De afstand van 1 tot 6 is even groot als de afstand van 6 tot ☐

De afstand van 5 tot 25 is even groot als die van 25 tot ☐

OEFENING

Onderstaande grafiek behoort bij een logaritmische potentiometer. We zien dit onmiddelijk aan de rechte lijn die verschijnt bij een logaritmisch verdeelde *R*-as.



1. Lees in de grafiek op het vorig blad af bij welke hoek α de potentiometer is ingesteld op 1 kΩ.

α =

2. Bij welke α is de weerstand 10 kΩ? α =

3. Bij welke α is de weerstand 100 kΩ? α =

4. Bij welke hoek α is de weerstand *R* = 30 kΩ?

α =

5. Als α = 150^0, hoe groot is dan *R*? *R* =

6. Welke verdraaiingshoek is nodig om te komen:

van 1 kΩ naar 5 kΩ?

van 5 kΩ naar 25 kΩ?

van 25 kΩ naar 125 kΩ?

van 125 kΩ naar 625 kΩ?

van 1 kΩ naar 625 kΩ?

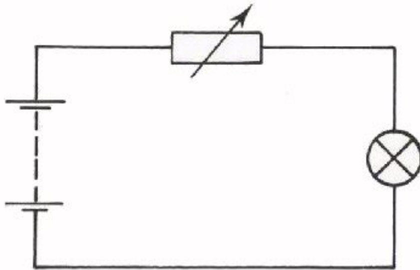
OPDRACHT:

Bepaal van de twee verstrekte potentiometers welke de lineaire en welke de logaritmische is met behulp van een ohmmeter. Bepaal tevens het "begin" en het "eind" van de logaritmische potentiometer.

HET GEBRUIK VAN EEN POTENTIOMETER ALS REGELBARE WEERSTAND

Men gebruikt in de elektronica dikwijls *regelbare* of *variabele weerstanden.* Dit zijn weerstanden waarvan men de waarde kan veranderen.

Voorbeeld:

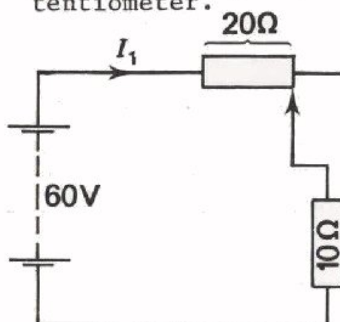


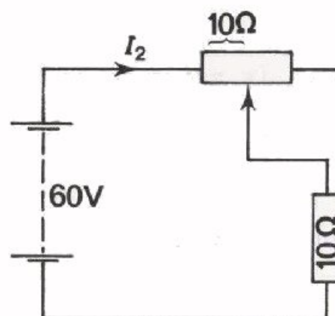
De stroom door dit lampje kan men regelen met behulp van de variabele weerstand R. Maakt men R groter, dan wordt de stroom door het lampje kleiner; bij kleinere R wordt de stroom groter.

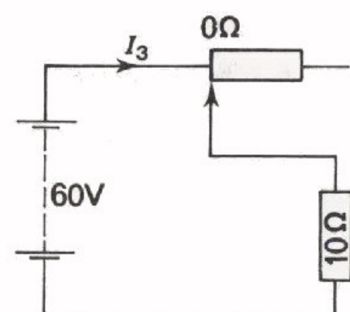
Een potentiometer kan men voor dit doel goed gebruiken.

OEFENING

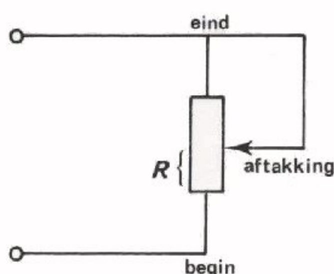
Bepaal de stroom in de volgende schakeling bij drie standen van de pottentiometer.







I_1 = ☐ I_2 = ☐ I_3 = ☐



Bij het gebruik van een potentiometer als variabele weerstand verbindt men het eind van de potentiometer met de aftakking. De weerstandswaarde is dan gelijk aan de weerstand tussen "begin" en "aftakking". Het deel van de potentiometer tussen "eind" en "aftakking" is dan immers kortgesloten.

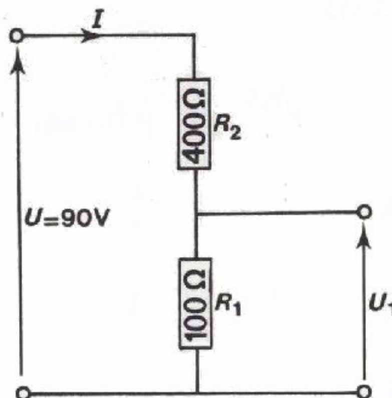
Naarmate de loper dichter bij het "begin" van de potentiometer staat, wordt een kleiner deel van de weerstand van de potentiometer gebruikt. Dit betekent dat de stroom door dit deel groter wordt en dit deel daardoor sterker verhit zal worden. Door de loper te dicht naar het "begin" te schuiven kan de stroom in het gebruikte deel zelfs te groot worden, waardoor dit deel van de potentiometer defect raakt!

DE SPANNINGSDELER

- Onbelast.

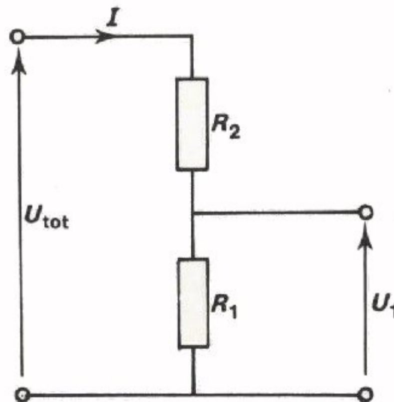
Het komt in de elektronica vaak voor dat men een vaste spanning heeft, waarvan men maar een deel wil gebruiken. In dat geval brengt men een z.g. *spanningsdeler* aan.

Voorbeeld:



Men heeft hier een spanning van 90 V. Met behulp van twee in serie geschakelde weerstanden verdeelt men deze spanning. Tussen de klemmen A en B blijkt een spanning U_1 te staan van 18 V. Ga dit na!

Algemeen geldt voor zo'n spanningsdeler:



$U_1 = R_1 . I$

$U_{tot} = (R_1 + R_2)I.$

De verhouding van deze spanningen is dan:

$$\frac{U_1}{U_{tot}} = \frac{R_1 . I}{(R_1 + R_2)I} = \frac{R_1}{R_1 + R_2},$$

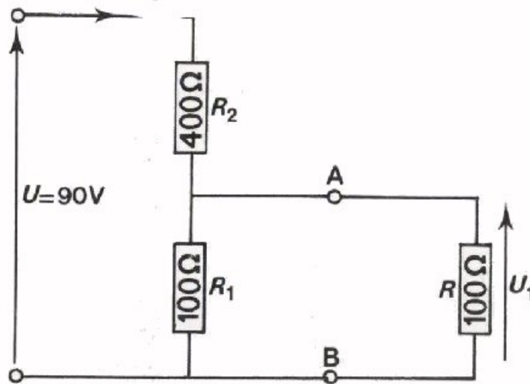
zodat $\boxed{U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times U_{tot}}$

● Belast.

Belast men de spanningsdeler met een weerstand R, dan wordt de verhouding van de spanningen anders.

Voorbeeld:

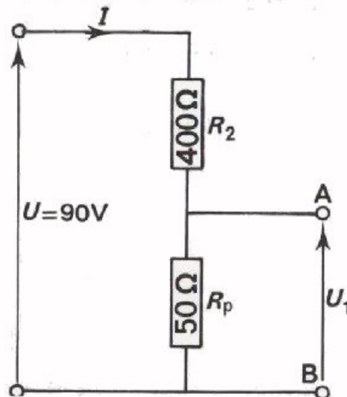
De spanningsdeler van het vorige blad is nu belast met R = 100 Ω.



De vervangingsweerstand van R_1 en R is:

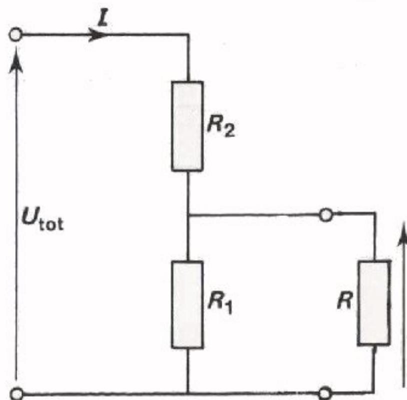
$$R_p = \frac{R_1 R}{R_1 + R} = \frac{100.100}{200} = 50\ \Omega.$$

We kunnen bovenstaand schema nu vervangen door:



De spanning tussen de klemmen A en B is nu U_1 = 10 V. Ga dit na.

Algemeen geldt voor de belaste spanningsdeler:



$$U_1 = R_p I$$

$$U_{tot} = (R_2 + R_p)I$$

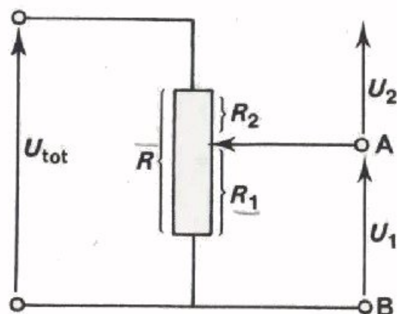
Dus $\dfrac{U_1}{U_{tot}} = \dfrac{R_p . I}{(R_2 + R_p)I} = \dfrac{R_p}{R_2 + R_p}$,

zodat $$\boxed{U_1 = \frac{R_p}{R_2 + R_p}\, U_{tot}}$$

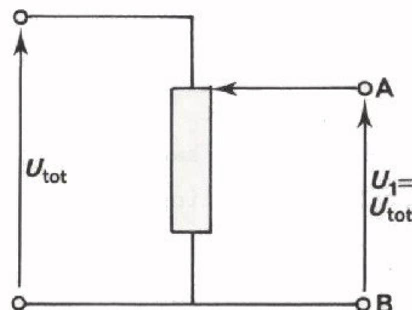
waarin $R_p = \dfrac{R_1 R}{R_1 + R}$.

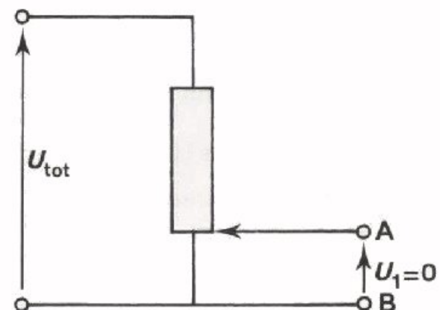
HET GEBRUIK VAN EEN POTENTIOMETER ALS SPANNINGSDELER

De spanningsdeler die we bekeken bestond uit twee vaste weerstanden. De grote spanning wordt verdeeld in twee vaste kleinere spanningen. Men kan een potentiometer ook gebruiken als spanningsdeler.



Doordat de aftakking verschuifbaar is langs de weerstand R, kan men de verhouding $\frac{U_1}{U_2}$ van de spanningen veranderen.





In de bovenste stand is de spanning U_1 tussen de klemmen A en B gelijk aan de spanning U_{tot}.

In de onderste stand is de spanning U_1 tussen de klemmen A en B gelijk aan nul.

In de tussenstanden van de loper kan U_1 alle waarden tussen 0 en U_{tot} aannemen.

OPDRACHT: METINGEN AAN EEN POTENTIOMETER

- Bouw de schakeling van blad A20.12 op het oefenpaneel. Laat de schakelaar S open. We gaan nu eerst *meten.*
- Stel met behulp van de voltmeter de spanning U_{tot} in op 12 V.
- Stel de potentiometer zó in, dat U_1 = 8 V.
- Meet nu met de voltmeter U_2. U_2 =
- Meet met de ohmmeter R_1 en R_2. R_1 =

  R_2 =

- Bepaal de verhouding: $\frac{U_2}{U_1}$ =
- Bepaal de verhouding: $\frac{R_2}{R_1}$ =
- Meet de stroom : I =
- Vervolgens gaan we *berekenen*!
- Als U S sluit, dan komt R_u parallel te staan aan R_1. Bereken de vervangingsweerstand R_p van deze parallelschakeling.

  R_p =

- Bereken ook de totale weerstand waarmee de voedingsbron is belast.

  R_{tot} =

- Bereken de stroom I. I =
- Bereken de verhouding: $\frac{R_2}{R_p}$ =
- Bereken de verhouding: $\frac{U_2}{U_1}$ =

Tenslotte gaan we aan de belaste spanningsdelen *meten.*

- Sluit nu S en meet:

U_1 =

U_2 =

dus $\frac{U_2}{U_1}$ =

I =

- Kloppen de berekende en gemeten waarden?

CONCLUSIES

Door de potentiometer te belasten verandert de verhouding van de weerstanden van:

$\frac{R_2}{R_1}$ = in $\frac{R_2}{R_p}$ =

Ook de verhouding van de deelspanningen verandert, en wel van:

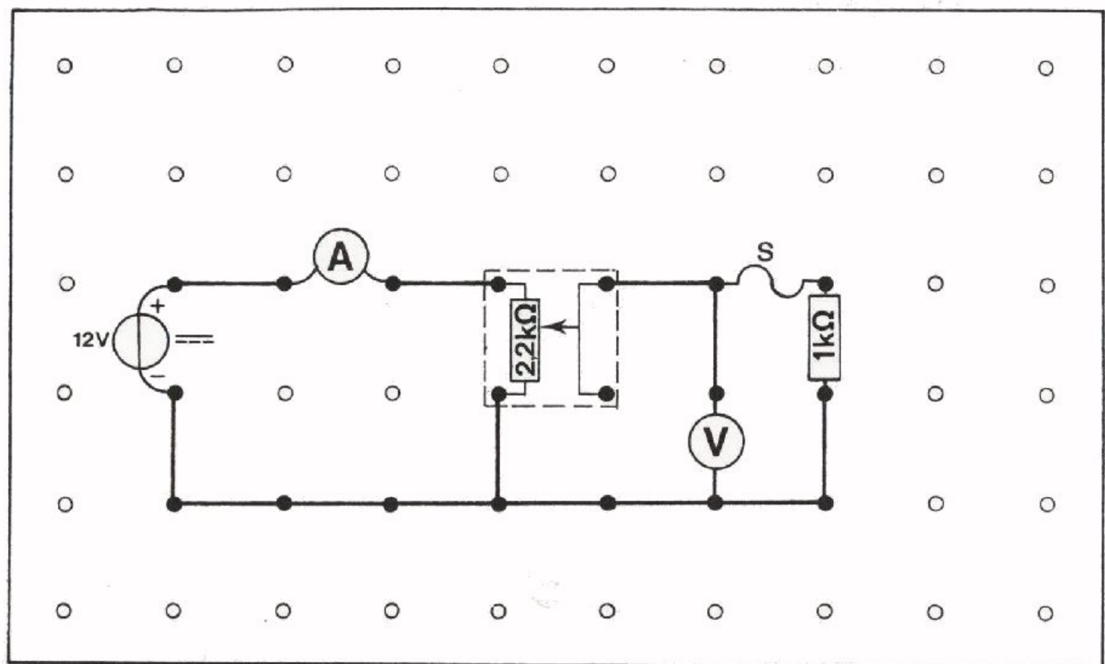
$\frac{U_2}{U_1}$ = in $\frac{U_2}{U_1}$ =

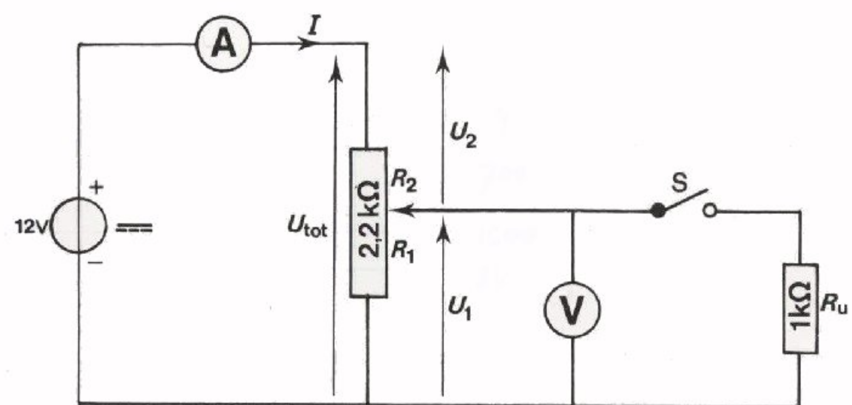
Ook de totale belastingsweerstand wordt anders.

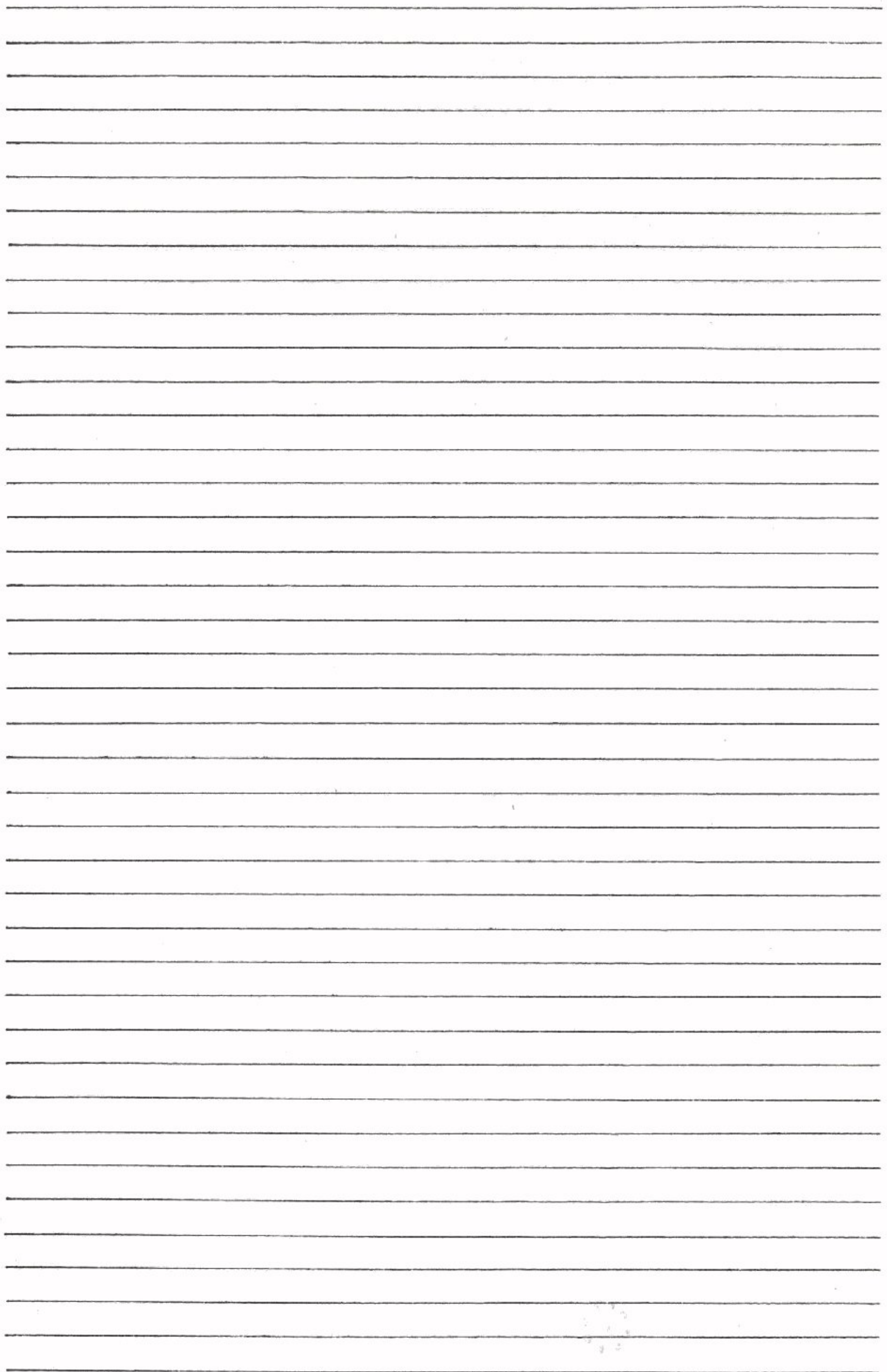
Deze was eerst: en wordt:

Doordat de belastingsweerstand veranderd is, verandert ook de stroom I.

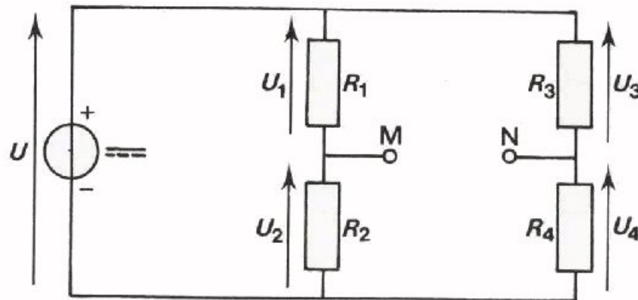
Deze was eerst: en wordt:


A
S
12V
+
−
2,2kΩ
1kΩ
V


A
I
12V
+
−
U_{tot}
2,2kΩ
R_2
R_1
U_2
U_1
V
S
1kΩ
R_u



DE BRUG VAN WHEATSTONE



In dit schema ziet u twee spanningsdelers die parallel zijn aangesloten op een spanning U. Voor de linker spanningsdeler geldt:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Voor de rechter spanningsdeler geldt evenzo:

$$\frac{U_3}{U_4} = \frac{R_3}{R_4}.$$

Zijn de weerstanden in deze schakeling zó gekozen, dat de verhoudingen:

$\frac{R_1}{R_2}$ en $\frac{R_3}{R_4}$ aan elkaar gelijk zijn,

dan geldt ook:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_3}{U_4}.$$

In dit speciale geval verdeelt de spanning U zich op dezelfde wijze over R_1 en R_2 als over R_3 en R_4.

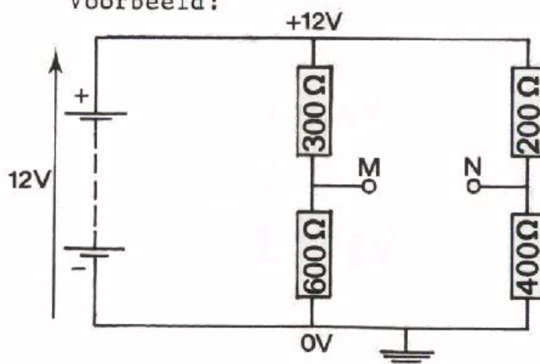
Dit betekent, dat er tussen de punten M en N geen spanningsverschil aanwezig is.

Dus:

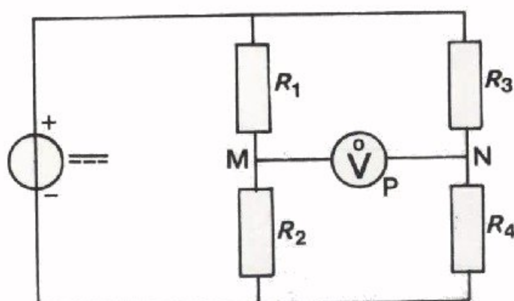
Tussen M en N staat *geen spanning* als $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$.

Sluit men tussen de punten M en N een voltmeter aan, dan zal deze meter geen uitslag te zien geven.

Voorbeeld:



In deze schakeling is de spanning van punt M gelijk aan 8 V. Ook de spanning van punt N is 8 V. Ga dit na!

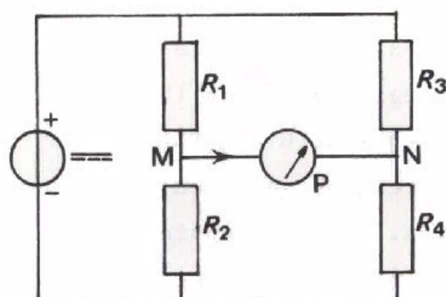


De meter heeft zijn nulstand in het midden.

Een schakeling als de bovenstaande, die is opgebouwd uit twee parallel geschakelde spanningsdelers en waarbij tussen de punten M en N b.v. een meter is aangebracht, noemt men een *brug van Wheatstone* - spreek uit "wietstoon". In het geval, dat

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4},$$

staat er geen spanning tussen M en N, er loopt dus geen stroom door de meter; deze staat op nul. Deze toestand duidt men aan door te zeggen, dat *de brug in evenwicht* is.

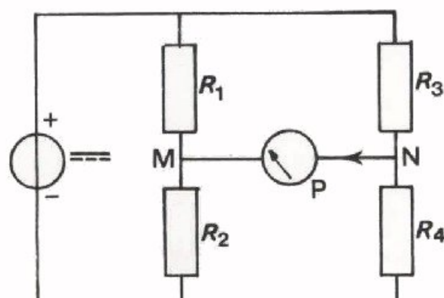


$$\frac{R_1}{R_2} < \frac{R_3}{R_4}$$

Maakt men R_1 kleiner en (of) R_2 groter, dan wordt de verhouding

$$\frac{R_1}{R_2} \text{ kleiner dan } \frac{R_3}{R_4}.$$

Het punt M wordt dan positief t.o.v. N. Er zal dan stroom gaan lopen van M naar N. De meter slaat naar rechts uit.



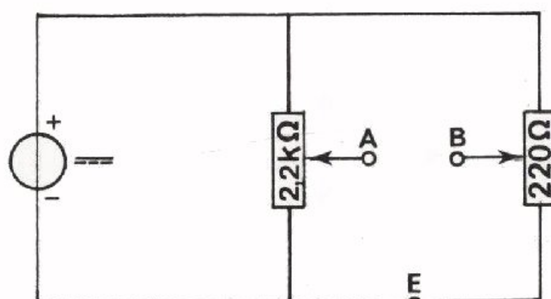
$$\frac{R_1}{R_2} > \frac{R_3}{R_4}$$

Maakt men R_1 groter en (of) R_2 kleiner, dan wordt de verhouding

$$\frac{R_1}{R_2} \text{ groter dan } \frac{R_3}{R_4}.$$

Het punt M wordt dan negatief t.o.v. N. Er zal dan een stroom gaan lopen van N naar M. De meter slaat naar links uit.

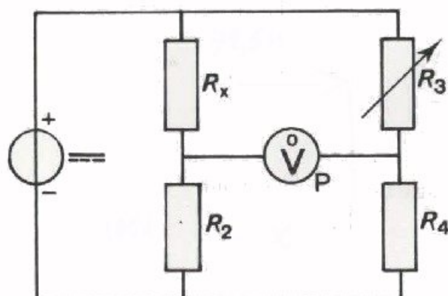
OPDRACHT: METING AAN EEN BRUG VAN WHEATSTONE



- Bouw deze schakeling met behulp van twee draaipotentiometers op het oefenpaneel.
- Stel de voedingsbron in op circa 10 V.
- Stel de loper van de potentiometer van 2,2 kΩ met behulp van de voltmeter zó in, dat U_{AE} = 5 V.
- Stel op dezelfde wijze ook U_{BE} in op 5 V.
- Breng de voltmeter aan tussen A en B en kijk of de brug inderdaad in evenwicht is. Zet de meter om te beginnen in het 12 V-bereik. Door aan een van de potentiometers te draaien kunt u de brug precies in evenwicht brengen. U moet de spanningsmeter telkens naar een lager meetbereik schakelen en opnieuw op nul regelen. In het laagste bereik kunt u de meter enige malen onderbreken en bij volkomen brug-evenwicht zal de meter daarop niet meer reageren. Dan is de brug precies in evenwicht.
- Zet de meter op het 3 V-bereik. Door aan de potentiometers te draaien kunt u de brug uit evenwicht brengen, zowel naar de ene als naar de andere kant. Doe dit voorzichtig en probeer te begrijpen wat er gebeurt.

HET METEN VAN EEN WEERSTAND MET EEN BRUG VAN WHEATSTONE

Met behulp van een brug van Wheatstone kan men de waarde van een weerstand nauwkeurig meten.



Men kan dan nevenstaande schakeling gebruiken. Hierin:

- is R_x de onbekende weerstand die men wil meten,
- zijn R_2 en R_4 vaste weerstanden met een nauwkeurig bekende waarde,
- is R_3 een variabele weerstand, waarvan men de waarde voor elke stand nauwkeurig kan aflezen.

De meter is een *indicatie*-instrument. Zo'n instrument geeft alleen aan of er al of geen stroom loopt, maar geeft niet de grootte van de stroom. "Indicatie" betekent "aanduiding". Indicatie-instrumenten hebben het nulpunt vaak in het midden.

Met behulp van bovenstaande schakeling kan men de waarde van de onbekende weerstand R_x bepalen. Dit geschiedt als volgt.

Men stelt R_3 zó in, dat de brug in evenwicht is. Dit kan men zien aan het indicatie-instrument; dat zal dan niet meer uitslaan.

Als de brug in evenwicht is, geldt:

$$\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad \text{of} \quad \boxed{R_x = \frac{R_3}{R_4} R_2}$$

Is b.v. R_2 = 100 kΩ

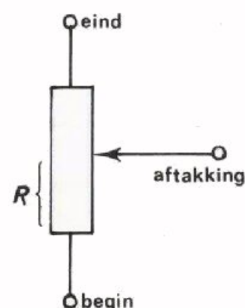
en R_4 = 10 kΩ , en lezen we af R_3 = 7,25 kΩ,

$$\text{dan is: } R_x = \frac{R_3}{R_4} R_2 = \frac{7{,}25}{10} \times 100 = 72{,}5 \text{ k}\Omega.$$

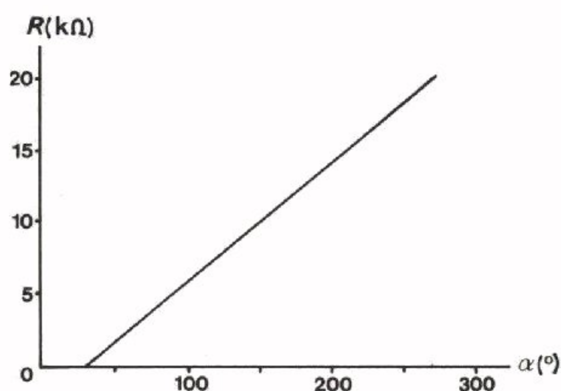
Voor een nauwkeurige bepaling van R_x zal het nodig zijn dat de weerstanden R_2 en R_4 precies bekend zijn, evenals die van R_3. Voor R_2 en R_4 neemt men meestal "mooie" waarden, omdat R_x dan met behulp van bovenstaande formule gemakkelijk kan worden berekend. De weerstand R_3 moet men zeer precies in kunnen stellen. Voor R_3 gebruikt men meestal een z.g. ***weerstandsbank***. Dit is een combinatie van nauwkeurige weerstanden, waarvan de waarde der vervangingsweerstand in zeer kleine stapjes geregeld kan worden.

SAMENVATTING

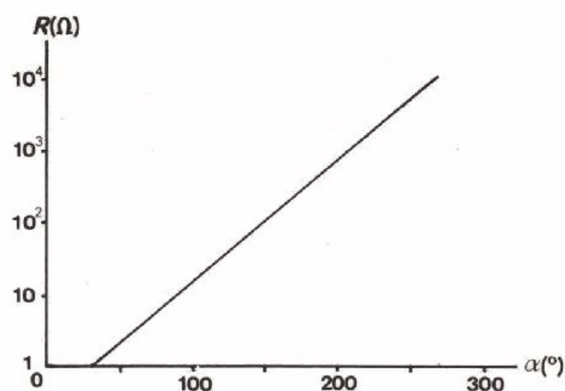
- Een *potentiometer* is een weerstand met een verschuifbare aftakking.



- Men heeft *lineaire* en *logaritmische* draai-koolpotentiometers.
  Bij een lineaire draaipotentiometer neemt R evenredig toe met de draaiingshoek α.
  Bij een logaritmische draaipotentiometer neemt R logaritmisch toe met de draaiingshoek.

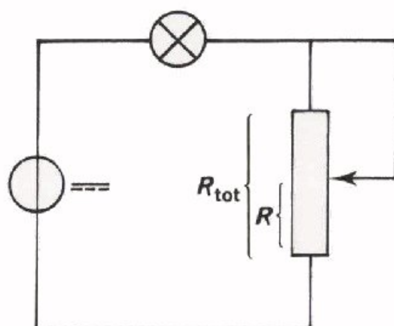


lineair toenemende R



logaritmische toenemende R

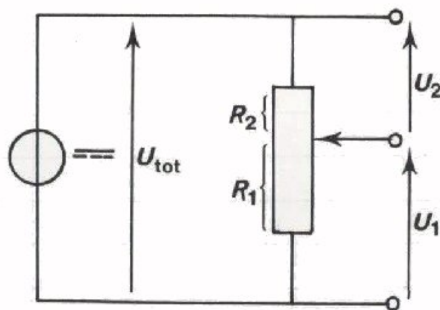
- Een potentiometer is te gebruiken als *variabele weerstand*.



Bij deze toepassing is het van belang er op te letten, dat de maximaal toelaatbare *stroom* niet wordt overschreden.

Vooral bij kleine waarden van R kan gemakkelijk een te grote stroom optreden.

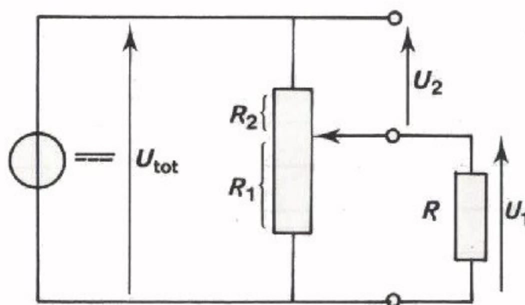
● Een potentiometer wordt ook dikwijls gebruikt als *instelbare spanningsdeler*.



Als de potentiometer niet belast is geldt:

$$U_1 : U_2 = R_1 : R_2$$

of $$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{tot}.$$



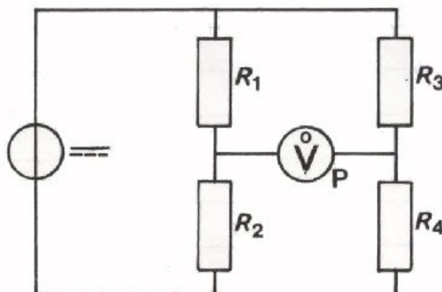
Als de potentiometer belast is met een weerstand R_u geldt:

$$U_1 : U_2 = R_p : R_2$$

of $$U_1 = \frac{R_p}{R_p + R_2} U_{tot}.$$

Hierin: $R_p = \frac{R_1 R_u}{R_1 + R_u}$.

● Brug van Weatstone



$I = 0$, als:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Dan is de brug *in evenwicht.*

Als men de brug gebruikt voor het *meten van weerstanden*, dan is:

R_1 de te meten weerstand R_x,

R_2 en R_4 een weerstand met een nauwkeurig bekende waarde,

R_3 een nauwkeurig instelbare variabele weerstand, b.v. een weerstandsbank.

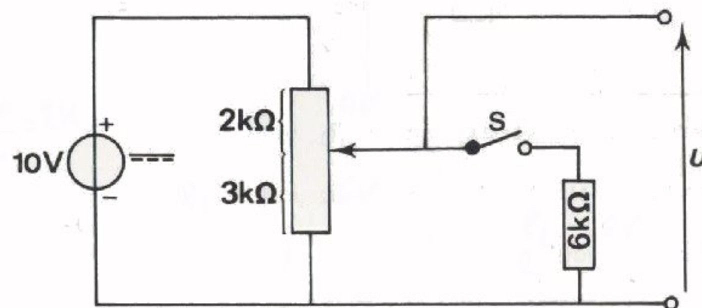
Men vindt $R_x = \frac{R_3}{R_4} R_2$, als de brug in evenwicht gebracht is.

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

1.

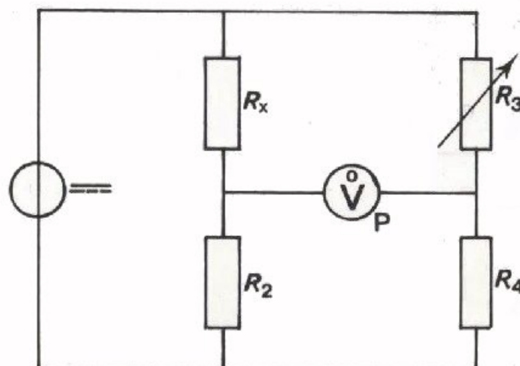


Als men S sluit, wordt de spanning U: ______ V

Door het 2 kΩ-deel van de potentiometer loopt dan een stroom van: ______ mA

Door de weerstand van 6 kΩ loopt dan een stroom van: ______ mA

2.



Iemand heeft deze brug in evenwicht gebracht.

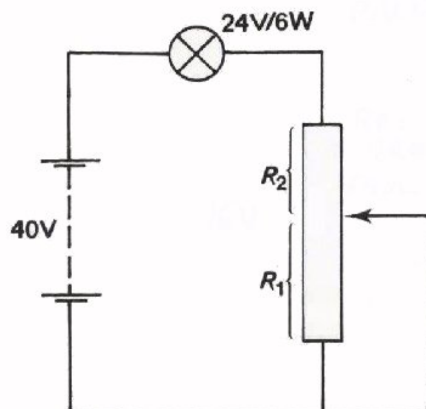
R_2 = 10 kΩ

R_4 = 500 Ω.

Hij leest af: R_3 = 842 Ω.

De waarde van R_x is:

3.



$R_1 + R_2 = 220\ \Omega$.

Bereken hoe men de potentiometer moet instellen om over de lamp een spanning van 24 V te krijgen.

R_1 =

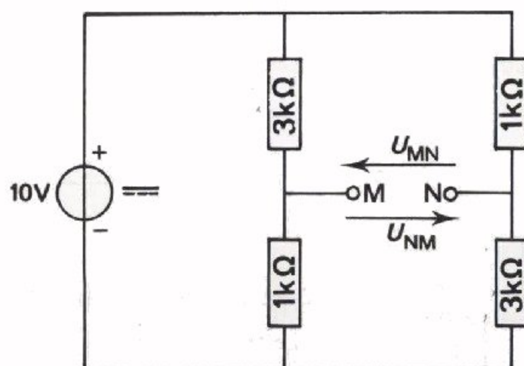
R_2 =

Hoeveel vermogen wordt er dan in R_1 ontwikkeld?

Hoeveel vermogen wordt er dan in R_2 ontwikkeld?

Hoeveel stroom loopt er dan door de aftakking? I =

4.



In deze schakeling:

U_{MN} =

U_{NM} =

A 21 HERHALING 2A

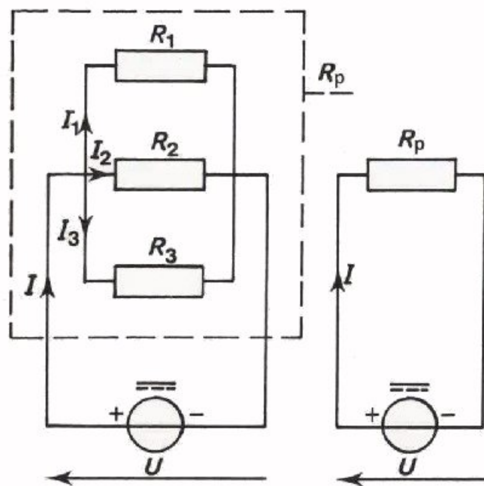
Sinds de laatste test in les A11 zijn er heel wat nieuwe onderwerpen aan de orde geweest. Het wordt dan ook tijd om de voorafgaande stof nog eens te herhalen. Deze les en de volgende zijn geheel gereserveerd voor herhaling. In les A23 volgt dan een uitvoerige test.

ENKELE TIPS

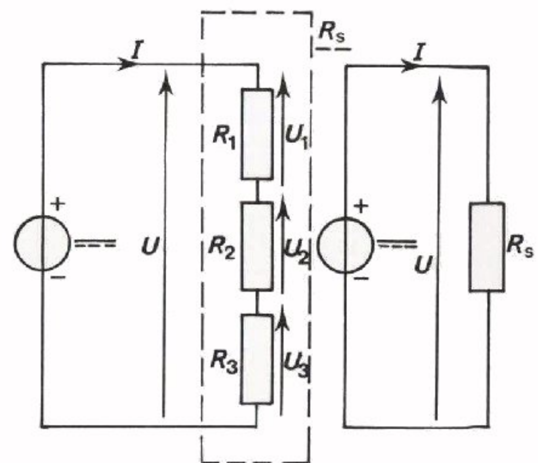
- U moet er zich van bewust zijn dat u dank zij het aandachtig doorwerken van de voorafgaande lessen reeds aardig goed op de hoogte bent van de leerstof.
- Werk deze twee herhalingslessen serieus door. Ga voor uzelf na of u alles dóór hebt. Probeer vooral te achterhalen wat u niet begrepen hebt of waar nog moeilijkheden zitten. Vraag uw leraar om nadere uitleg.
- Bestudeer thuis de *samenvattingen* van de behandelde lessen.
- Ga na waar u fouten maakte in opgaven en probeer uit te vissen waarom.

De testles A23 bestaat uit 40 vragen: 20 keuze-antwoord-vragen en 20 "gewone" vragen. Bij deze vragen komt u geen rekenkundige en algebraïsche opgaven tegen. Uiteraard is bij het oplossen van de elektro-technische vraagstukken wel enige kennis van rekenkunde en algebra nodig.

PARALLEL- EN SERIESCHAKELING VAN WEERSTANDEN.



PARALLEL



SERIE

- Over elke R staat dezelfde U.
- De totale stroom I verdeelt zich in de deelstromen I_1, I_2 en I_3:

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

- De stromen verhouden zich als de omgekeerde waarden van de weerstanden:

$$I_1 : I_2 : I_3 : I = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} : \frac{1}{R_p}.$$

- Voor de vervangingsweerstand R_p geldt:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

- Voor de vervangingsweerstand van 2 parallel geschakelde weerstanden geldt:

$$R_p = \frac{R_1 . R_2}{R_1 + R_2}.$$

- Door elke R gaat dezelfde I.
- De totale spanning U verdeelt zich in de deelspanningen U_1, U_2 en U_3:

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

- De spanningen verhouden zich als de weerstanden waarover zij staan:

$$U_1 : U_2 : U_3 : U = R_1 : R_2 : R_3 : R_s.$$

- Voor de vervangingsweerstand R_s geldt:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3.$$

PARALLEL

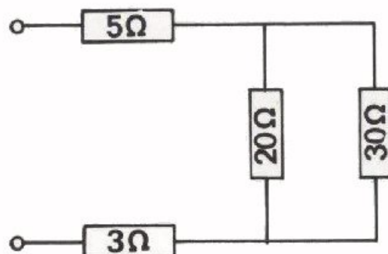
- R_p is kleiner dan de kleinste weerstand.
- Wordt één weerstand onderbroken, dan blijft er stroom lopen door de andere weerstanden.
- Wordt een weerstand kortgesloten, dan loopt er (bijna) geen stroom meer door de andere weerstanden.

SERIE

- R_s is groter dan de grootste weerstand.
- Wordt één weerstand onderbroken, dan loopt er door de andere weerstanden geen stroom meer.
- Wordt een weerstand kortgesloten, dan blijft er door de andere weer standen een (grotere) stroom lopen.

OEFENINGEN

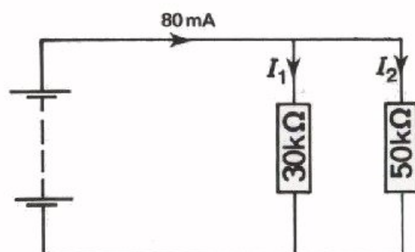
1.



De vervangingsweerstand van deze schakeling is:

58 Ω	O
33 Ω	O
23 Ω	O
20 Ω	O

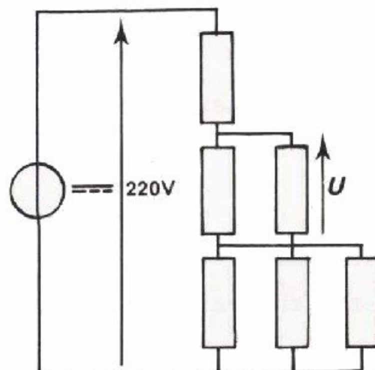
2.



In deze schakeling is:

I_1 = 90 mA en I_2 = 10 mA	O
I_1 = 60 mA en I_2 = 20 mA	O
I_1 = 50 mA en I_2 = 30 mA	O
I_1 = 30 mA en I_2 = 50 mA	O

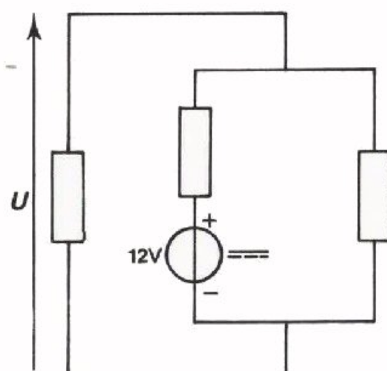
3.



In deze schakeling zijn alle weerstanden gelijk. De spanning *U* is:

120 V	O
60 V	O
40 V	O
andere waarde	O

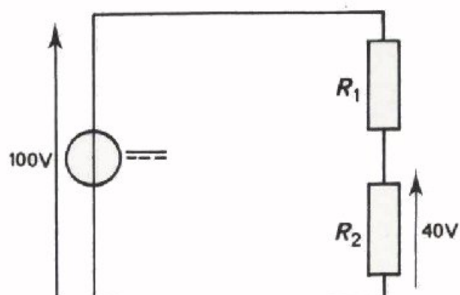
4.



In deze schakeling zijn alle weerstanden even groot. De spanning *U* is:

4 V	O
6 V	O
8 V	O
10 V	O

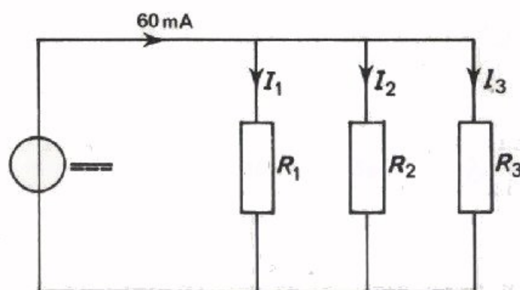
5.



In deze schakeling is R_1 = 12 kΩ. De waarde van de weerstand R_2 is:

18 000 Ω	O
8000 Ω	O
4000 Ω	O
2000 Ω	O

6.



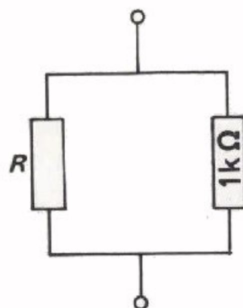
Bereken I_1, I_2 en I_3 als R_1 = 30 kΩ, R_2 = 50 kΩ en R_3 = 75 kΩ.

I_1 =

I_2 =

I_3 =

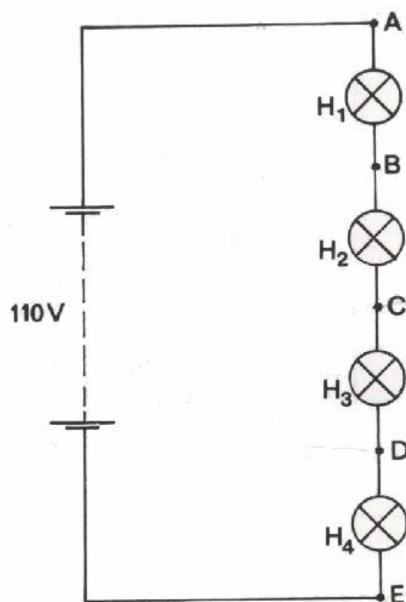
7.



Bereken R, als de vervangingsweerstand van deze schakeling 950 Ω is.

R =

8.



H1 t/m H4 zijn gelijke lampen voor 110 V

Tussen A en D meet men een spanning van 110 V. Tussen C en E meet men ook een spanning van 110 V. Wat is uw conclusie?

lamp H_1 heeft sluiting O

lamp H_2 heeft sluiting O

lamp H_3 heeft sluiting O

lamp H_4 heeft sluiting O

H_1 is onderbroken O

H_2 is onderbroken O

H_3 is onderbroken O

H_4 is onderbroken O

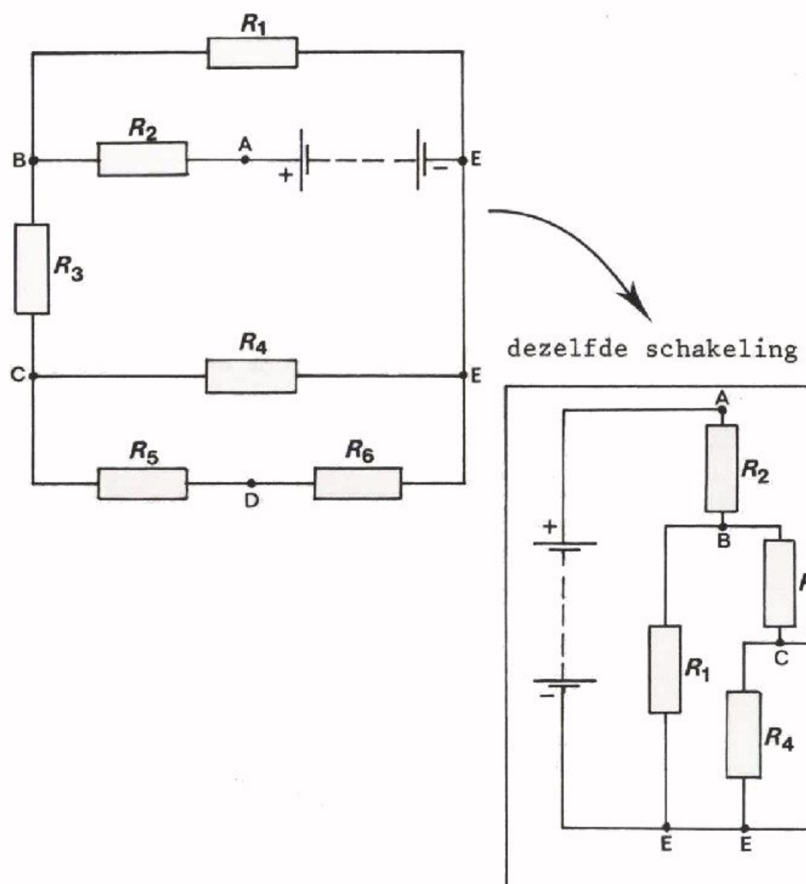
GEMENGDE SCHAKELINGEN

- Onder een "gemengde schakeling" verstaan we een combina
  en parallelschakelingen.

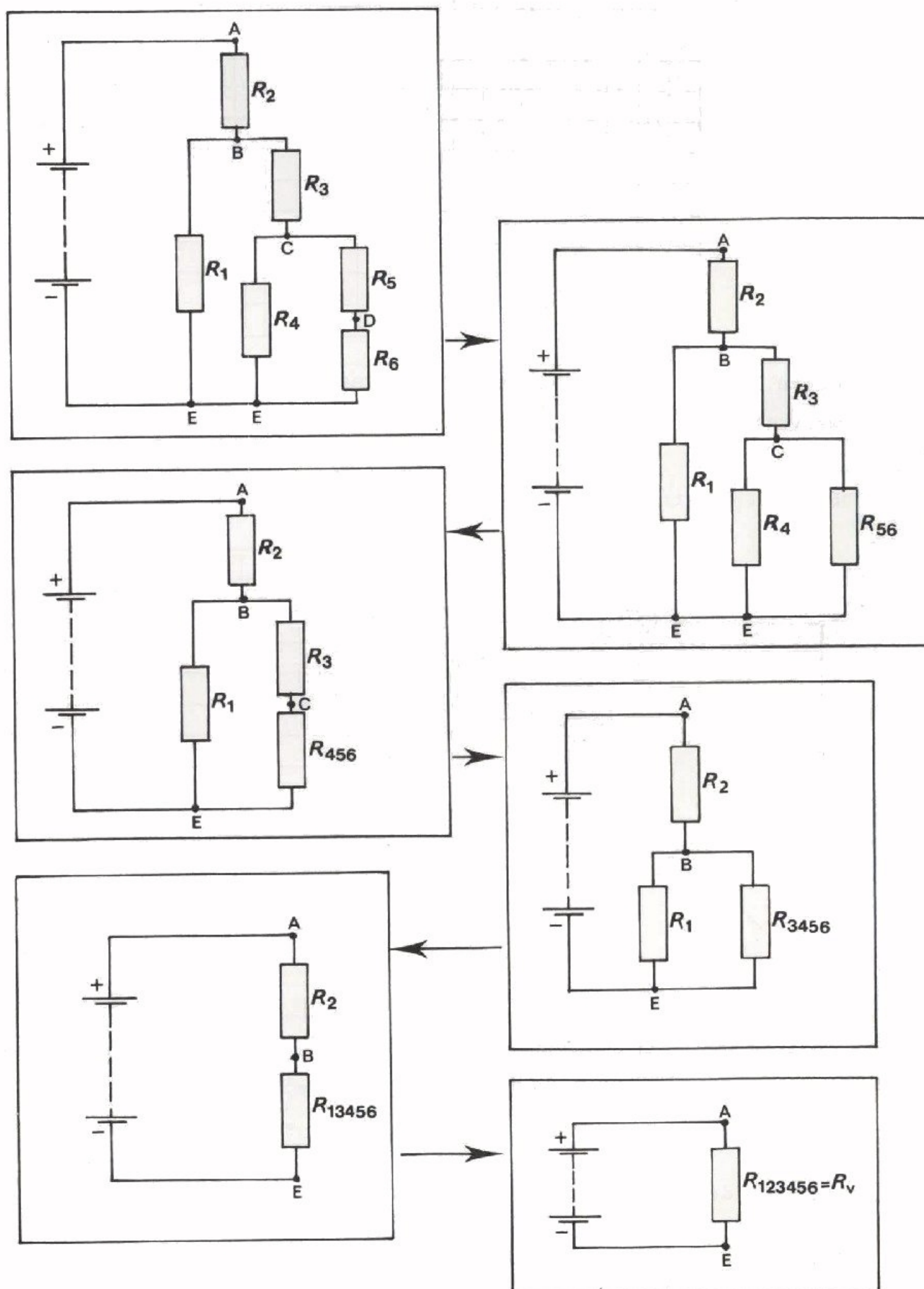
- Een gemengde schakeling is vaak moeilijk te overzien. D
  om een beter inzicht in de schakeling te verkrijgen vaa
  middelen toepassen!

● De schakeling *overzichtelijker* schetsen. Hierbij is het
verschillende punten in het oorspronkelijke schema lett
(A, B, C, D, E) en deze letters ook in het nieuwe schem
Dan is goed te *controleren* of tussen dezelfde punten de
zijn aangesloten.

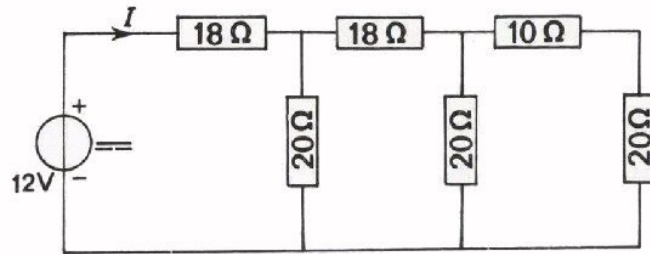
Bestudeer volgend voorbeeld:

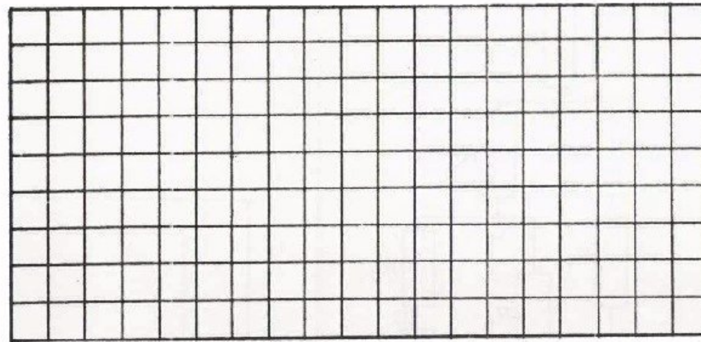


• Daarna gaat men de schakeling in stappen *vereenvoudigen*. In plaats van parallel- en serieschakelingen van weerstanden tekent men de vervangingsweerstand. Het voorbeeld van het vorige blad is hieronder op deze manier vereenvoudigd. Controleer dit.



1.



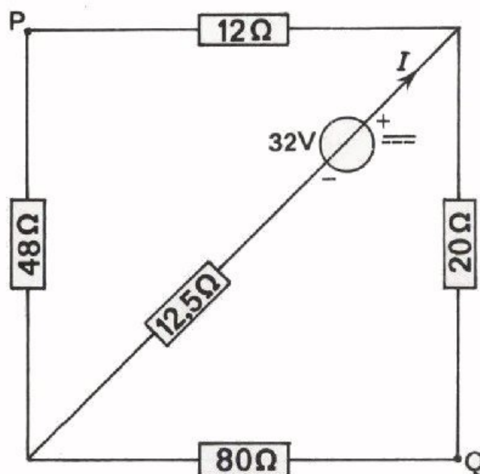


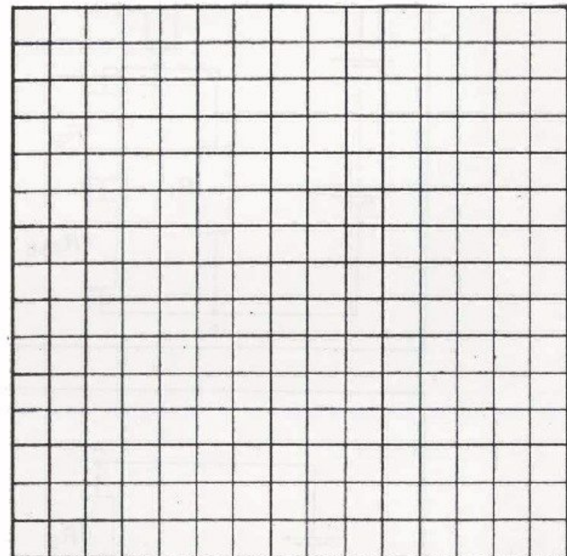
Teken deze schakeling handiger en vereenvoudig hem. Bereken de vervangingsweerstand.

R_V =

Bereken de stroom I. I =

2.





Teken deze schakeling handiger en vereenvoudig hem. Bereken de weerstand R_{tot} waarmee de spanningsbron wordt belast.

R_{tot} =

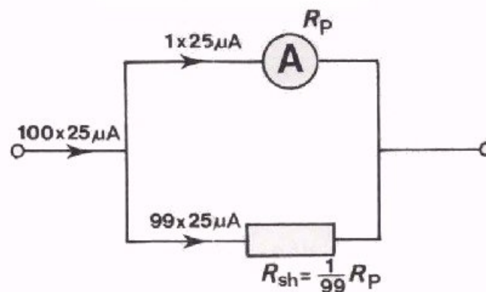
Bereken de stroom I. I =

Hoe groot is de spanning tussen P en Q? U_{PQ} =

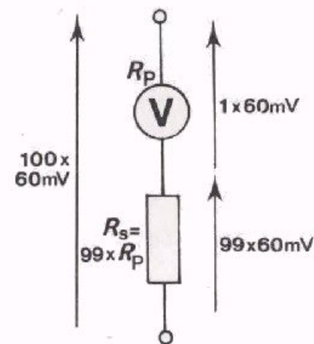
METING VAN STROOM EN SPANNING

- De wijzer van het *meetsysteem* van een universeelmeter slaat vol uit bij toevoer van een kleine stroom (b.v. 25 µA) of een kleine spanning (b.v. 60 mV).

STROOMMETER

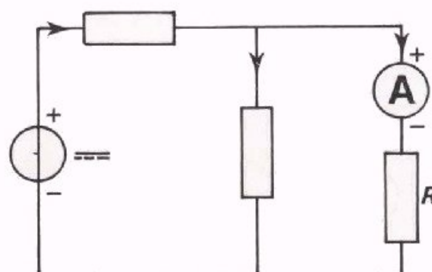


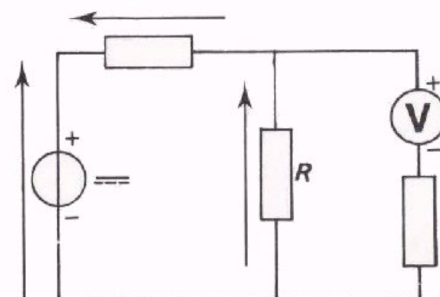
SPANNINGSMETER



- Om het stroombereik te vergroten brengt men een shuntweerstand "parallel" aan.
- Een *stroom*meter moet men *in serie* schakelen met de component *R*, waarvan men de stroom wil meten die erdoor loopt.

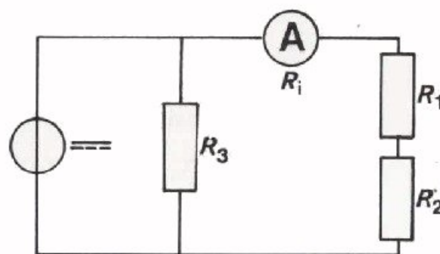
- Om het spanningsbereik te vergroten brengt men een voorschakelweerstand "in serie" aan.
- Een *spannings*meter moet men *parallel* schakelen aan de component *R*, waarvan men de spanning wil meten die erover staat.





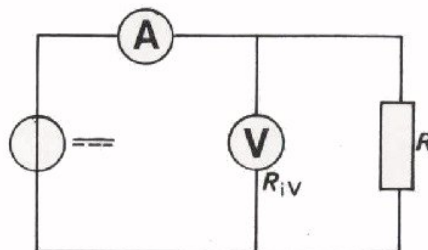
STROOMMETER

- De R_i van een stroommeter is *klein*.
- Door het stroombereik 100 maal zo groot te maken wordt de R_i 100 maal zo klein.
- De R_i van de stroommeter behoort *veel kleiner* te zijn dan de totale weerstand die ermee in serie staat.



$R_i << R_1 + R_2$

•



De stroommeter meet niet alleen de stroom door R, maar ook de stroom door de voltmeter.
Alleen toelaatbaar als $R_{iV} >> R$.

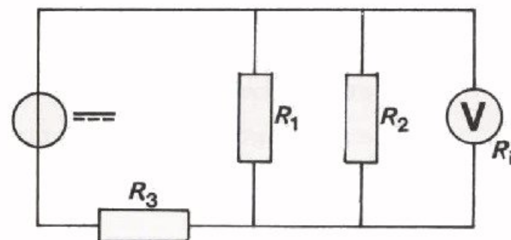
SPANNINGSMETER

- De R_i van een spanningsmeter is *groot*.
- Door het spanningsbereik 100 maal zo groot te maken wordt de R_i 100 maal zo groot.

  De R_i bedraagt:

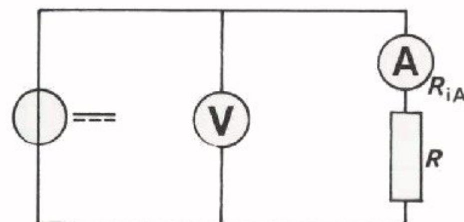
spanningsbereik x aantal Ω/V

- De R_i van de voltmeter behoort *veel groter* te zijn dan de totale weerstand die er aan parallel staat.



$R_i >> \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

•



De voltmeter meet niet alleen de spanning over R, maar ook de spanning over de stroommeter.
Alleen toelaatbaar als $R_{iA} << R$.

OEFENINGEN

1. Men heeft een meetsysteem van een draaispoelmeter. Dit systeem heeft een weerstand R_m = 2000 Ω. Voor volle wijzeruitslag is een stroom nodig van 50 μA. Door middel van een shunt-weerstand wil men dit systeem geschikt maken voor het meten van stromen tot 100 mA. Hoe groot moet de shunt-weerstand zijn?

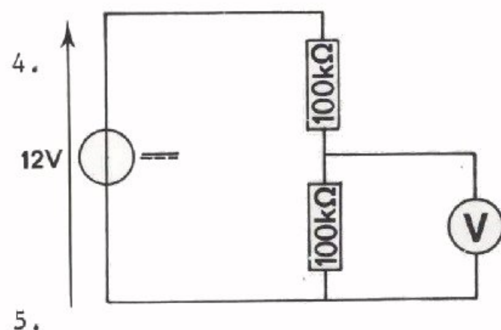
   R_{sh} = ____

2. Als men ditzelfde meetsysteem geschikt wil maken voor het meten van spanningen tot 60 V, welke voorschakelweerstand moet men dan aanbrengen?

   R_v = ____

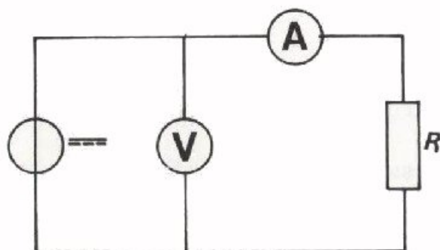
3. Op een meter staat aangegeven: 20 000 Ω/V. De meter staat op het 3 V-bereik en wijst 2 V aan. De inwendige weerstand van de meter is dan:

   R_i = ____

4. 

De inwendige weerstand van de voltmeter in deze schakeling is 100 kΩ. De meter wijst een spanning aan van:

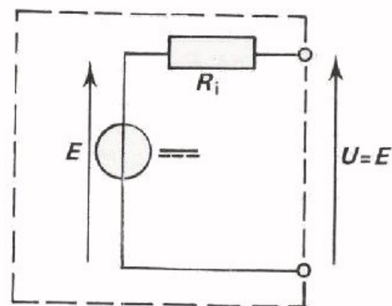
____

5. 

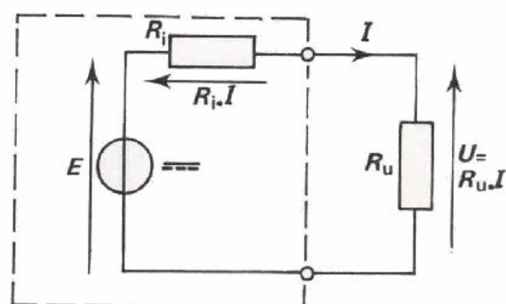
Men wil de stroom door en de spanning over de weerstand *R* meten. Men doet dit met nevenstaande schakeling. Hierbij maakt men een fout. Welke en waarom?

____
____
____
____
____
____

DE VOEDINGSBRON



- Een voedingsbron is samengesteld te denken uit de serieschakeling van een E.M.K.-bron en een inwendige weerstand R_i



- In onbelaste toestand is de spanning U tussen de aansluitklemmen - de z.g. *klemspanning* - gelijk aan de E.M.K. E.

- In belaste toestand is de klemspanning U kleiner dan de E.M.K.:

  klemspanning = E.M.K. - inwendig spanningsverlies

$$U = E - R_i.I$$

- De E.M.K. kan men bepalen door onbelast te meten. In dit geval loopt er géén stroom I, zodat het inwendig spanningsverlies $R_i.I = 0$. Dan geldt: $U = E$.

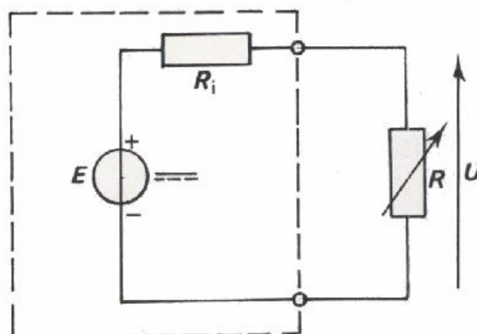
- Bij een belaste voedingsbron is:

  $P_i = R_i I^2$ = inwendig vermogen, waardoor de bron inwendig wordt verwarmd.

  $P_u = R_u I^2 = U.I$ = aan de belastingsweerstand R_u afgegeven vermogen.

  P_i is maximaal bij *kortsluiting*.

  P_u is maximaal als $R_u = R_i$.



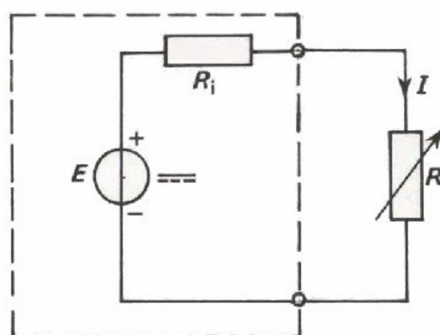
$R >> R_i$

$U \approx E$

Als bij veranderlijke belasting steeds geldt $R >> R_i$, dan is

$U = R.I = R \frac{E}{R_i + R} \approx R \frac{E}{R} = E$ of $U \approx E$.

Dan spreekt men van een *spanningsbron*; dit is een bron van "bijna constante" spanning.



$R << R_i$

$I \approx \frac{E}{R_i}$

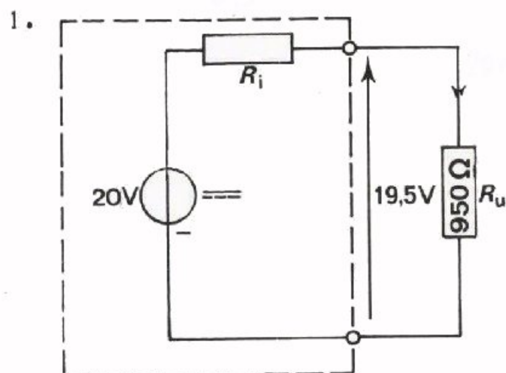
Als bij veranderlijke belasting steeds geldt $R << R_i$, dan is

$I = \frac{E}{R_i + R} \approx \frac{E}{R_i}$ of $I \approx \frac{E}{R_i} = I_{kort}$.

Dan spreekt men van een *stroombron*; dit is een bron van "bijna constante" stroom.

OEFENINGEN

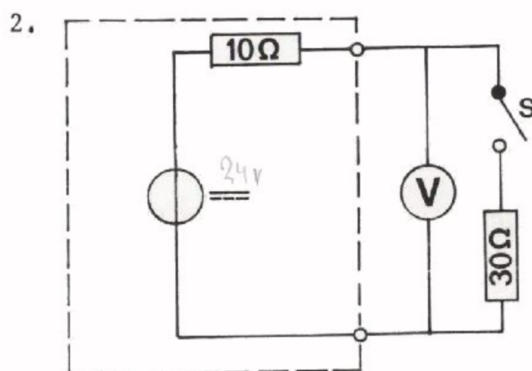
1.



De inwendige weerstand R_i van de voedingsbron in deze schakeling heeft een waarde van:

1000 Ω	O
925 Ω	O
250 Ω	O
25 Ω	O

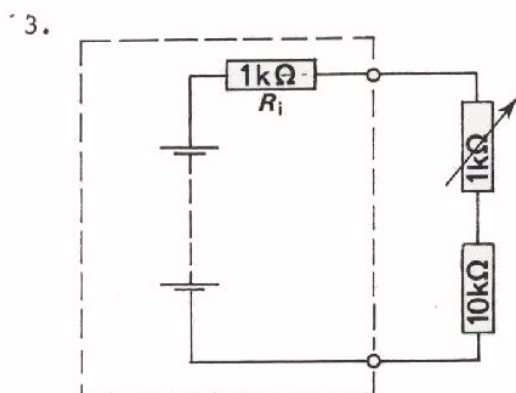
2.



Als S open is, wijst de voltmeter 24 V aan. Sluiten we de schakelaar S, dan wijst de voltmeter aan:

24 V	O
20 V	O
18 V	O
16 V	O

3.



Deze voedingsbron gedraagt zich als een:

spanningsbron	O
stroombron	O
spannings- zowel als een stroombron	O
stroombron, als de E.M.K. van de batterij niet te groot is.	O

4. De inwendige weerstand van een batterij:

is de oorzaak van inwendig spanningsverlies	O
is de oorzaak van inwendig stroomverlies	O
wordt kleiner naarmate de batterij veroudert	O
wordt groter naarmate meer stroom wordt afgenomen	O

5. Als men een batterij met 100 Ω belast, daalt de klemspanning met 20%. Dan is de inwendige weerstand gelijk aan:

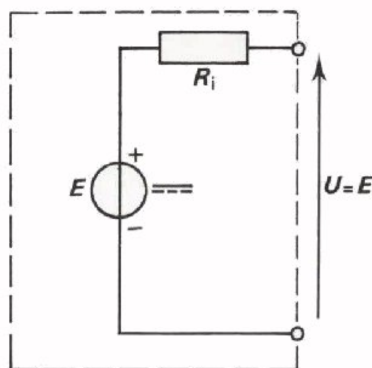
20 Ω	O
25 Ω	O
400 Ω	O
500 Ω	O

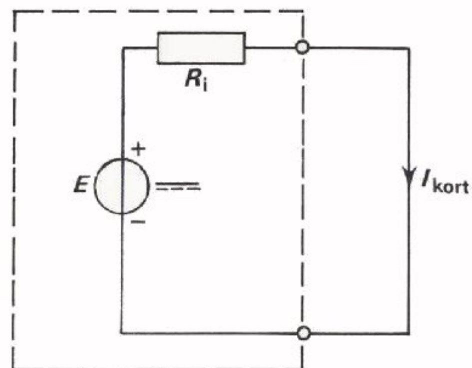
MET METEN VAN R_i

We maken in deze herhalingsles van de gelegenheid gebruik om iets nader in te gaan op de inwendige weerstand R_i van de voedingsbron. We doen dit omdat uw inzicht in de voedingsbron daardoor wordt vergroot en omdat het voor de praktijk van belang is.

Men wil namelijk in de praktijk dikwijls dat een voedingsbron zijn maximale vermogen levert aan een uitwendige weerstand R_u. We weten dat dit het geval is als $R_u = R_i$, zodat het van belang is de waarde van R_i te kennen. Men zal dus in staat moeten zijn de inwendige weerstand R_i te bepalen. Hiervoor bestaan drie methoden.

➤ Als men de voedingsbron mag kortsluiten kan men R_i eenvoudig bepalen.

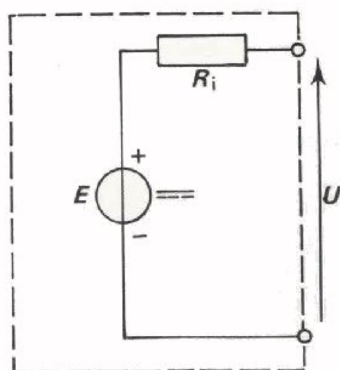


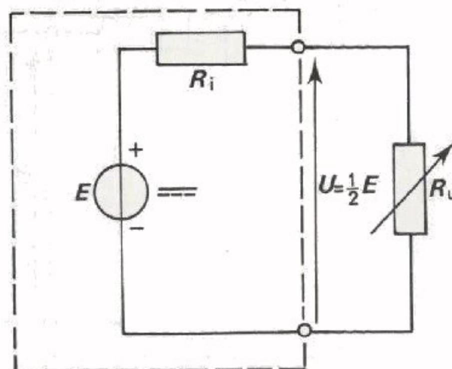


- Men meet de klemspanning in onbelaste toestand. In dit geval $U = E$.
- Men meet vervolgens de stroom in kortgesloten toestand I_{kort}.

Tenslotte is R_i te berekenen met $R_i = \frac{E}{I_{kort}}$.

➤ Als men de voedingsbron niet mag kortsluiten, maar wel flink mag belasten, kan men de R_i als volgt bepalen.

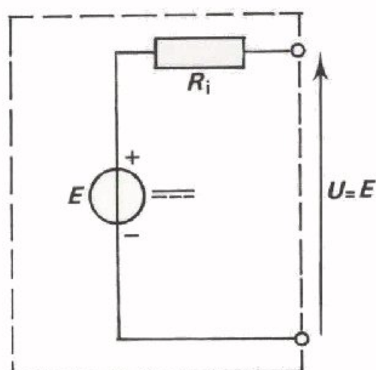


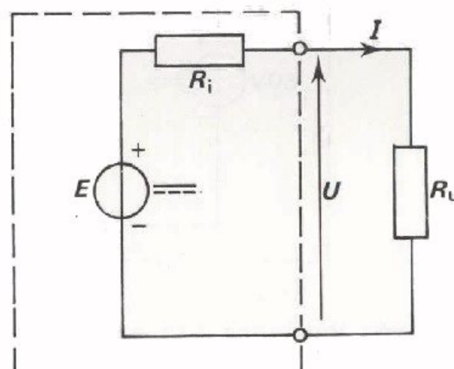


- Men meet weer de klemspanning in onbelaste toestand: $U = E$.

- Men brengt een variabele R_u aan en regelt deze zó, dat $U = \frac{1}{2} E$. Daarna meet men b.v. met een ohmmeter de waarde van deze R_u, die nu gelijk is aan R_i. Ga dit na!

➤ Als men de voedingsbron niet zo zwaar mag belasten dat de klemspanning daalt tot $\frac{1}{2} E$, is er nog een derde methode om R_i te bepalen.





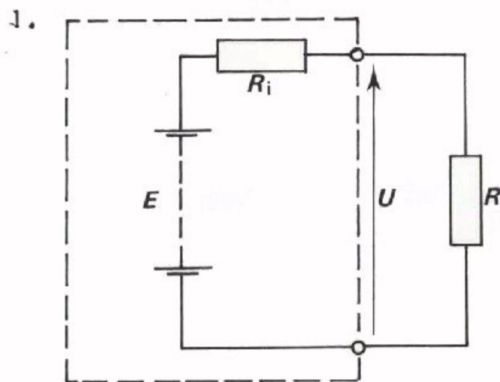
- Men meet weer de klemspanning in onbelaste toestand $U = E$.

- Men brengt een of andere, niet te zware belasting aan. Men meet de stroom I door deze belastingsweerstand R_u en de klemspanning U.

In de formule: $U = E - I.R_i$ zijn nu de grootheden E, U en I bekend, zodat men R_i kan uitrekenen.

OEFENINGEN

1.



In deze schakeling is: $R = 12\ \Omega$

$E = 100$ V

$U = 80$ V.

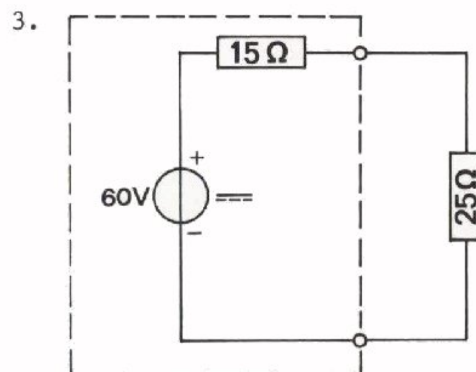
Bereken de inwendige weerstand.

$R_i =$ [ ]

2. Op een voedingsbron met een E.M.K. van 8 V en een inwendige weerstand van 2,2 Ω sluit men een gemengde schakeling van weerstanden aan. Hierdoor blijkt de klemspanning te dalen tot 2,5 V. Hoe groot is de vervangingsweerstand van de gemengde schakeling?

[ ]

3.



Het inwendige spanningsverlies is in nevenstaande spanningsbron gelijk aan:

[V]

4. Men meet aan een voedingsbron in onbelaste toestand een klemspanning van 18 V. Men belast deze bron totdat de klemspanning is gedaald tot 16 V. Op dit moment is de stroom 10 A. Hoe groot is de inwendige weerstand van deze voedingsbron?

$R_i =$ [ ]

G E H E U G E N S T E U N

GROOTHEDEN, SYMBOLEN EN EENHEDEN

GROOTHEID	SYMBOOL	EENHEID	
lading	Q	coulomb	C
stroom	I	ampère	A
spanning	U	volt	V
E.M.K.	E	volt	V
weerstand	R	ohm	Ω
soortelijke weerstand	ρ	–	$\Omega\ mm^2/m$
temperatuurcoëfficiënt	θ	–	$\%/C^0$
kracht	F	newton	N
massa, (hoeveelheid materie)	m	kilogram	kg
lengte	l	meter	m
oppervlak	A	vierkante meter	m^2
snelheid	v	meter per seconde	m/s
tijd	t	seconde	s
arbeid, energie	W	wattseconde	Ws
		newtonmeter	Nm
		joule	J
vermogen	P	watt	W
warmte-hoeveelheid	Q_{th}	wattseconde	Ws
		joule	J
		calorie	cal
temperatuur	T	graad celcius	^0C
warmte-capaciteit	C_{th}	calorie per graad celcius	$cal/^0C$
frequentie	f	hertz	Hz
hoekfrequentie	ω	radialen per seconde	rad/s
trillingstijd periodetijd	T	seconde	s
voortplantingssnelheid	c	meter per seconde	m/s
golflengte	λ	meter	m
hoek		graad	^{0}
		radiaal	rad
reactantie	X	ohm.	Ω
impedantie	Z	ohm	Ω
capaciteit	C	farad	F
zelfinductie	L	henry	H
magnetische flux	Φ	–	–

OMREKENINGSFACTOREN

1 Ws = 0,25 cal

1 pk = 736 W

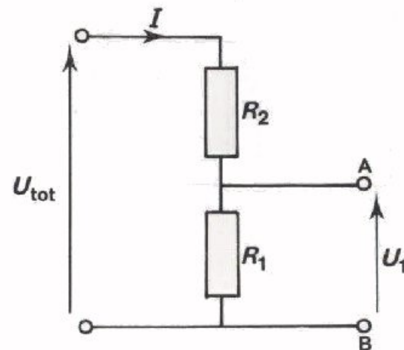
$1\ rad = \frac{360^0}{2\pi}$.

n	n^2	$\sqrt{n}$	n	n^2	$\sqrt{n}$
1	1	1,00	51	2601	7,14
2	4	1,41	52	2704	7,21
3	9	1,73	53	2809	7,28
4	16	2,00	54	2916	7,35
5	25	2,24	55	3025	7,42
6	36	2,45	56	3136	7,48
7	49	2,65	57	3249	7,55
8	64	2,83	58	3364	7,62
9	81	3,00	59	3481	7,68
10	100	3,16	60	3600	7,75
11	121	3,32	61	3721	7,81
12	144	3,46	62	3844	7,87
13	169	3,61	63	3969	7,94
14	196	3,74	64	4096	8,00
15	225	3,87	65	4225	8,06
16	256	4,00	66	4356	8,12
17	289	4,12	67	4489	8,19
18	324	4,24	68	4624	8,25
19	361	4,36	69	4761	8,31
20	400	4,47	70	4900	8,37
21	441	4,58	71	5041	8,43
22	484	4,69	72	5184	8,49
23	529	4,80	73	5329	8,54
24	576	4,90	74	5476	8,60
25	625	5,00	75	5625	8,66
26	676	5,10	76	5776	8,72
27	729	5,20	77	5929	8,78
28	784	5,29	78	6084	8,83
29	841	5,39	79	6241	8,89
30	900	5,48	80	6400	8,94
31	961	5,57	81	6561	9,00
32	1024	5,66	82	6724	9,06
33	1089	5,74	83	6889	9,11
34	1156	5,83	84	7056	9,17
35	1225	5,92	85	7225	9,22
36	1296	6,00	86	7396	9,27
37	1369	6,08	87	7569	9,33
38	1444	6,16	88	7744	9,38
39	1521	6,25	89	7921	9,43
40	1600	6,32	90	8100	9,49
41	1681	6,40	91	8281	9,54
42	1764	6,48	92	8464	9,59
43	1849	6,56	93	8649	9,64
44	1936	6,63	94	8836	9,70
45	2025	6,72	95	9025	9,75
46	2116	6,78	96	9216	9,80
47	2209	6,86	97	9409	9,85
48	2304	6,93	98	9604	9,90
49	2401	7,00	99	9801	9,95
50	2500	7,07	100	10 000	10,00

A 22 HERHALING 2B

DE SPANNINGSDELER

- Onbelast



De totale spanning U_{tot} verdeelt zich over de weerstanden R_2 en R_1.

$U_1 = R_1 . I$

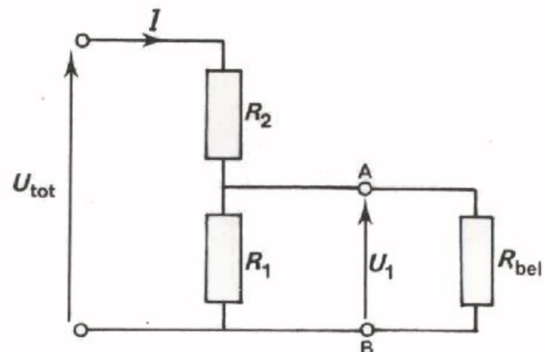
$U_{tot} = (R_1 + R_2)I$

De verhouding van de spanning tussen A en B en de totale spanning is:

$$\frac{U_1}{U_{tot}} = \frac{R_1 . I}{(R_1 + R_2)I} = \frac{R_1}{R_1 + R_2},$$

zodat: $$\boxed{U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{tot}}$$

- Belast



De totale stroom I_{tot} verdeelt zich over R_2 en de parallelschakeling van R_1 en R_{bel}.

$U_1 = R_p . I$

$U_{tot} = (R_2 + R_p)I$

De verhouding van deze spanningen is dan:

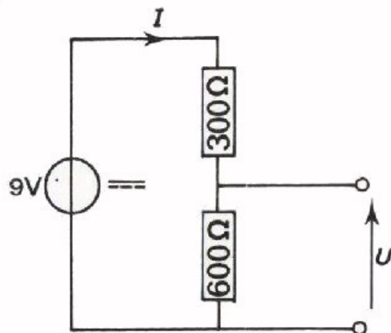
$$\frac{U_1}{U_{tot}} = \frac{R_p . I}{(R_2 + R_p) . I} = \frac{R_p}{R_2 + R_p},$$

zodat: $$\boxed{U_1 = \frac{R_p}{R_2 + R_p} U_{tot}}$$

Hierin is: $R_p = \frac{R_1 . R_{bel}}{R_1 + R_{bel}}$.

OEFENINGEN

1.

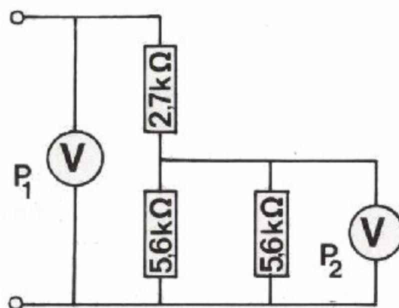


In deze schakeling is de

stroom I

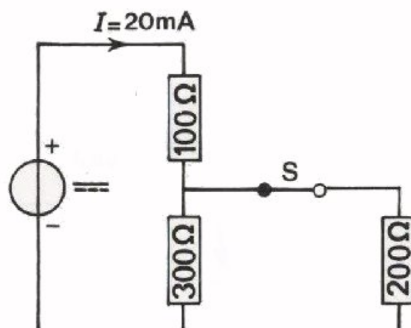
en de spanning U:

2.



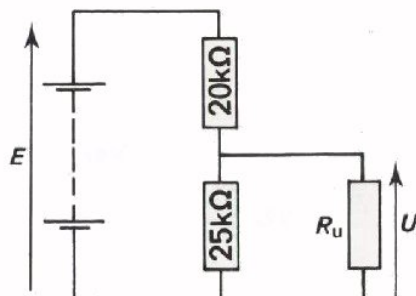
In deze schakeling zijn beide meters ideaal ($R_i = \infty$). P_1 wijst 110 V aan. De aanwijzing van de voltmeter P_2 is:

3.



Als men de schakelaar S opent, dan wordt de stroom I gelijk aan:

4.

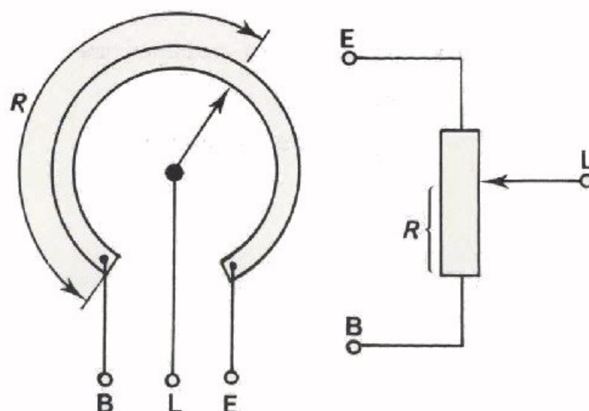


Bereken de waarde van R_u, als $U = \frac{1}{2} E$.

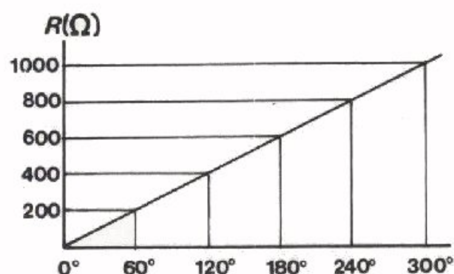
R_u =

DE POTENTIOMETER

- Een potentiometer of "potmeter" is een weerstand met een verschuifbare aftakking.

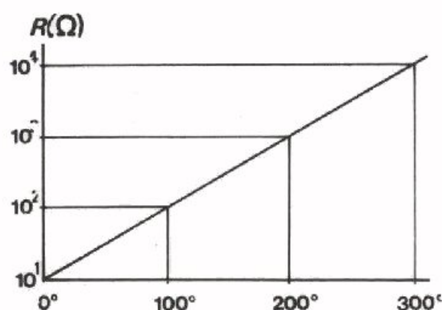


- Bij een *lineaire* potentiometer neemt de weerstand *R* tussen begin en loper evenredig toe met de draaiingshoek.



In dit voorbeeld neemt *R* bij elke 60^0 draaien telkens 200 Ω toe.

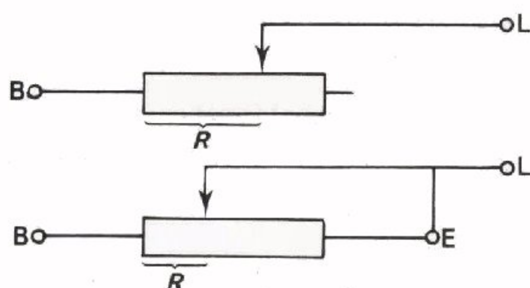
- Bij een *logaritmische* potentiometer neemt de weerstand *R* sterker toe naarmate men verder draait van begin naar eind.



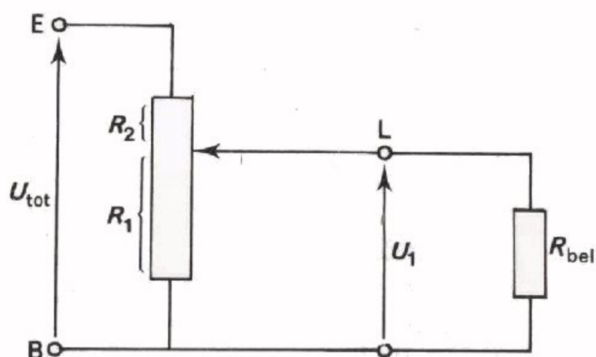
In het voorbeeld neemt *R* bij 100^0 draaien eerst 90 Ω, daarna 900 Ω en tenslotte 9000 Ω toe. Per 100^0 draaien wordt *R* 10 x zo groot in dit voorbeeld.

DE TOEPASSING VAN POTENTIOMETERS

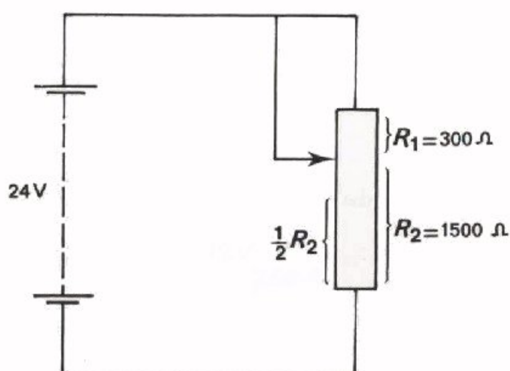
- Men kan een potentiometer gebruiken als *regelbare weerstand.*



- Men kan een potentiometer ook gebruiken als *spanningsdeler.*



OEFENING



Hoeveel vermogen wordt in de getekende stand van de gehele potentiometer toegevoerd?

P = [ ] mW

Hoeveel vermogen wordt nu aan $\frac{1}{2}$ R_2 = 750 Ω toegevoerd?

P = [ ] mW

Hoeveel vermogen wordt aan $\frac{1}{2}$ R_2 = 750 Ω toegevoerd indien men de loper zóver omlaag schuift dat de 24 V over $\frac{1}{2}$ R_2 komt te staan?

P = [ ] mW

MERK OP: naarmate men de loper verder omlaag schuift neemt het aan de potmeter toegevoerde vermogen verder toe, terwijl dit vermogen dan zelfs aan een al maar kleiner deel van de potmeter wordt toegevoerd. Tē ver omlaag schuiven zal het gebruikte deel van de potmeter dan ook te heet doen worden en een defect veroorzaken!

KRACHT, MASSA EN GEWICHT

- Een kracht wordt aangeduid met *F*. Een kracht heeft een *grootte* en een *richting* waarin hij werkt. Een kracht geeft men aan met een pijl →
De lengte van de pijl is een maat voor de grootte van de kracht.

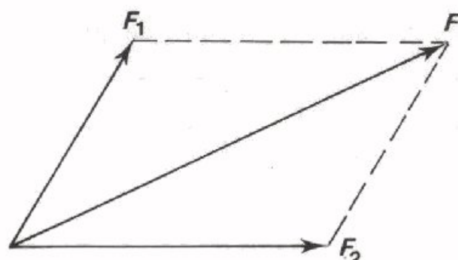
- De *eenheid* van kracht is de *newton*, (N). Een newton is de kracht die nodig is om ongeveer 0,1 kg op te tillen.

- *Massa* is "hoeveelheid materie" of "hoeveelheid moleculen".

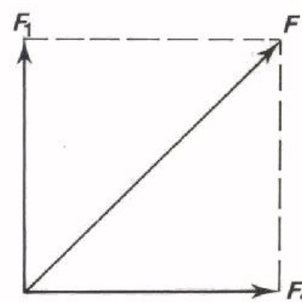
  De *eenheid* van massa is de *kilogram*, (kg). De massa van 1 liter water is 1 kg.

- *Gewicht* is de ***kracht***, waarmee de aarde aan een voorwerp trekt. "Weegt" een voorwerp 10 N, dan trekt de aarde met een zwaartekracht van 10 N aan dit voorwerp. Men moet dan een kracht van 10 N uitoefenen om het voorwerp op te tillen, d.w.z. om de zwaartekracht te overwinnen.

- Als op een voorwerp twee krachten F_1 en F_2 werken, kan men deze krachten *samenstellen* tot één kracht *F* door een parallellogram te tekenen. Omgekeerd is één kracht *F* te *ontbinden* in twee krachten F_1 en F_2, waardoor men deze ene kracht kan vervangen.



F_1 en F_2 zijn samengesteld tot één kracht *F*.



F is in twee onderling loodrechte richtingen ontbonden in de twee krachten F_1 en F_2.

OEFENINGEN

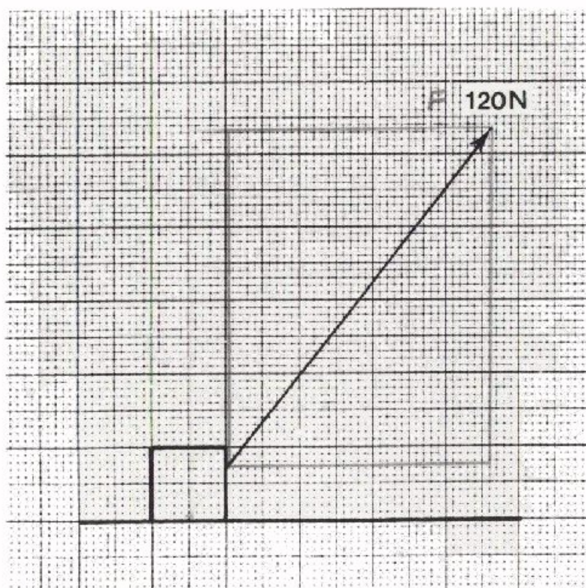
1. Welke van onderstaande beweringen is *onjuist*?

Gewicht is net zo iets als massa.	O
Gewicht is een kracht.	O
Massa is hoeveelheid stof.	O
Een massa heeft gewicht.	O

2. Ontbind F in een kracht F_1 evenwijdig aan het aardoppervlak en een kracht F_2 loodrecht daarop. Bepaal de grootten van F_1 en F_2.

F_1 = [ ]

F_2 = [ ]



ARBEID, ENERGIE EN VERMOGEN

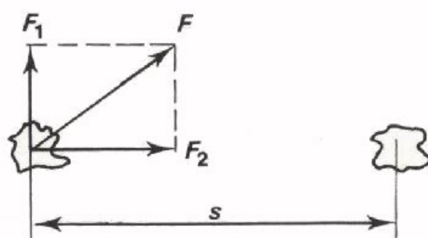
- Als een kracht een voorwerp verplaatst, verricht hij *arbeid*.

arbeid = *kracht* x *verplaatsing*

$$W = F \cdot s$$

W arbeid (Nm)
F kracht (N)
s verplaatsing (m).

"Verplaatsing" betekent in deze formule "verplaatsing in de richting van de kracht".



Hier b.v. geldt:

$W = F_2 . s$.

F is ontbonden in F_2, die in de richting van de verplaatsing werkt, en F_1 daar loodrecht op.

- De *eenheid* van arbeid is de *newtonmeter* (Nm). Dit is de arbeid die een kracht van 1 N verricht als hij een voorwerp 1 m verplaatst.

  In plaats van de naam Nm gebruikt men ook wel de benamingen *Joule* (J) en *Wattseconde* (Ws).

  1 Nm = 1 J = 1 Ws

- *Energie* is de mogelijkheid tot het verrichten van arbeid. Energie hebben b.v.: een opgetilde steen, een gespannen veer, een geladen accu, een voortvliegende sneeuwbal, een verwarmde soldeerbout.

- De *eenheid* van energie is dezelfde als de eenheid van arbeid: de Nm of J of Ws. Warmte-energie drukt men nog vaak uit in de eenheid *calorie*.

  $\underset{\text{elektrisch}}{1\text{ Ws}} = \underset{\text{mechanisch}}{1\text{ Nm}} = \underbrace{1\text{ J} = 0{,}24\text{ cal}}_{\text{thermisch}}$

- *Energie* kan niet uit het niets ontstaan en kan ook niet verloren gaan. Hij kan wel in een andere vorm van energie worden omgezet.

• *Vermogen* is per seconde verrichte arbeid of per seconde toegevoerde energie.

$$\textit{vermogen} = \frac{\textit{arbeid}}{\textit{tijd}}$$

$$\boxed{P = \frac{W}{t}}$$

P vermogen ($\frac{Nm}{s}$ of $\frac{J}{s}$ of W)

W arbeid (Nm of J of Ws)

t tijd (s).

• De *eenheid* van vermogen is de W of Nm/s of J/s en daarnaast ook de cal/s.
Bij motoren is de eenheid *paardekracht* voor vermogen in gebruik.

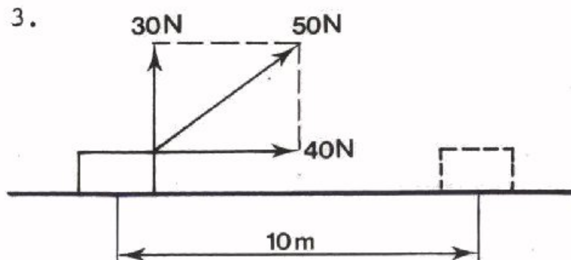
1 pk = 736 W

OEFENINGEN

1. Hoeveel arbeid heeft de zwaartekracht verricht als een blok van 5 kg over een afstand van 7 m omlaag valt?

W = ☐

2. Hoeveel pk is een motor van 15 kNm/s? ☐

3. 

Hoeveel arbeid is er verricht om het blok over 10 m te verplaatsen?

W = ☐

ELEKTRISCH VERMOGEN EN ELEKTRISCHE ENERGIE

- Bij elektrisch vermogen noemt men de *eenheid* niet Nm/s of J/s, maar watt (W).

1 W	=	1 Nm/s	=	1 J/s
elektrisch		mechanisch		thermisch

- Ook is

1 W	=	0,24 cal/s
elektrisch		thermisch

En bij motoren: 1 pk = 736 W

- Het aan een weerstand R toegevoerde elektrische *vermogen* bedraagt:

$$P = U.I$$

Met behulp van de wet van Ohm kan men ook schrijven:

$$P = RI^2 \quad \text{of} \quad P = \frac{U^2}{R}$$

P	vermogen	(W)
U	spanning	(V)
I	stroom	(A)
R	weerstand	(Ω)

- Elektrische *arbeid* of de door een elektrische stroom in een weerstand ontwikkelde warmte bedraagt:

$$W = U.I.t \quad \text{(Ws)}$$
$$= RI^2t \quad \text{(Ws)}$$
$$= \frac{U^2}{R}\,t \quad \text{(Ws)}.$$

Of ook:

$$W = 0{,}24\; U.I.t \quad \text{(cal)}$$
$$= 0{,}24\; RI^2t \quad \text{(cal)}$$
$$= 0{,}24\; \frac{U^2}{R}\,t \quad \text{(cal)}.$$

U	spanning	(V)
I	stroom	(A)
R	weerstand	(Ω)
t	tijd	(s)

- *Warmte* (*-energie*) of "thermische energie" duiden we aan met Q_{th}.
- De *warmte-capaciteit* C_{th} van een voorwerp is de hoeveelheid warmte die nodig is om de temperatuur van dat voorwerp 1^0C te doen stijgen.
- De warmte-capaciteit van 1 liter water is bijvoorbeeld 1000 calorie per ^{0}C.

BELANGRIJKE OPMERKING

Dikwijls ontstaat er verwarring over de begrippen *arbeid* en *vermogen*. Dit wordt o.a. veroorzaakt door de hoofdletter *W*, waarmee men arbeid in formules afkort en die men tevens gebruikt om de eenheid van vermogen "watt" aan te duiden.

ONDHOUD!

ARBEID: *W* ← "werk"	Elektrische *eenheid*: "wattseconde" (Ws)
VERMOGEN: $P = \frac{arbeid}{tijd}$ ← "pep"	Elektrische *eenheid*: "watt" (W)

OEFENINGEN

1. Hoeveel stroom mag er maximaal lopen door een weerstand van 100 Ω, 0,25 W?

I_{max} = [ ]

2. Hoeveel spanning mag er maximaal staan over een weerstand van 180 kΩ, 0,5 W?

U_{max} = [ ]

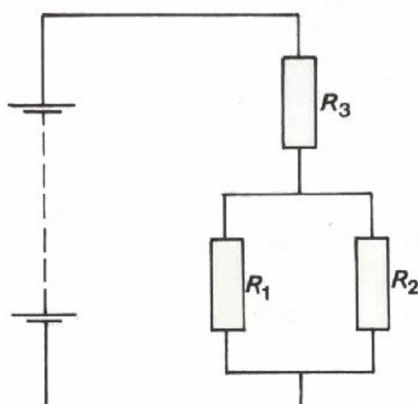
3. Een elektrische ketel voor 220 V heeft een weerstandselement van 88 Ω. Hoe lang duurt het ongeveer om in deze ketel 1 liter water van 40°C aan de kook te brengen?

[ ] minuten

4. De stand van een kWh-meter is: 1743,42 kWh. Daarna wordt een 150 W-lamp en een 2 kW-kachel ingeschakeld. Drie uur later wijst de meter aan:

[ ]

5.

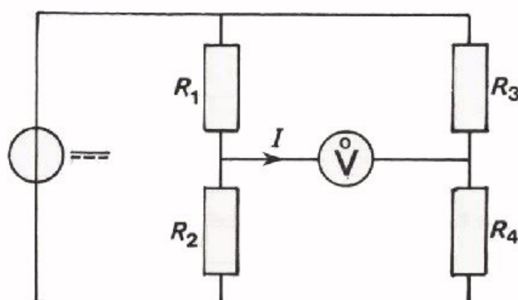


Alle weerstanden in deze schakeling zijn gelijk. Aan R_1 wordt een vermogen van 1 W toegevoerd. Hoe groot zijn de vermogens die aan de andere weerstanden worden toegevoerd?

Aan R_2: [ ]

Aan R_3: [ ]

DE BRUG VAN WHEATSTONE

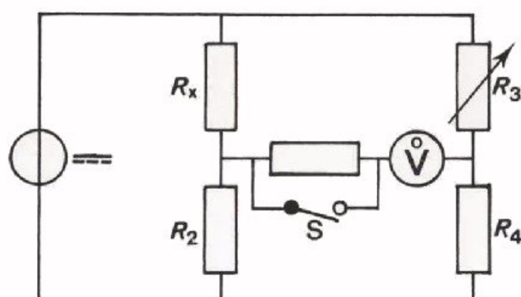


Een *brug van Wheatstone* is samengesteld uit twee parallel geschakelde spanningsdelers.

Als de spanning $U_{MN} = 0$, dan is ook de stroom I door het indicatie-instrument gelijk aan nul. De brug is dan *in evenwicht*. Dit is het geval als:

$$\boxed{\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}}$$

Een brug van Wheatstone kan men gebruiken voor het nauwkeurig meten van een weerstand.



R_x = de te meten weerstand.
R_2 en R_4 zijn precisieweerstanden met "mooie" waarden: 1 kΩ, 10 kΩ, enz.
R_3 = een precisie variabele weerstand; b.v. weerstandsbank.

Bij het begin van de meting zet men het indicatie-instrument eerst ongevoelig (S open). In deze toestand regelt men met R_3 de brug zo goed mogelijk in evenwicht. Daarna maakt men het meetinstrument gevoeliger (S dicht) en brengt men de brug nauwkeuriger in evenwicht. In de evenwichtstoestand geldt:

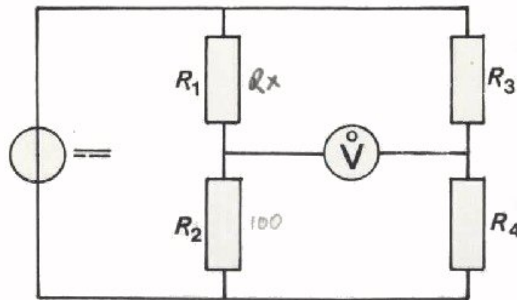
$$\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

of:

$$\boxed{R_x = \frac{R_3}{R_4} R_2}$$

OEFENINGEN

1.



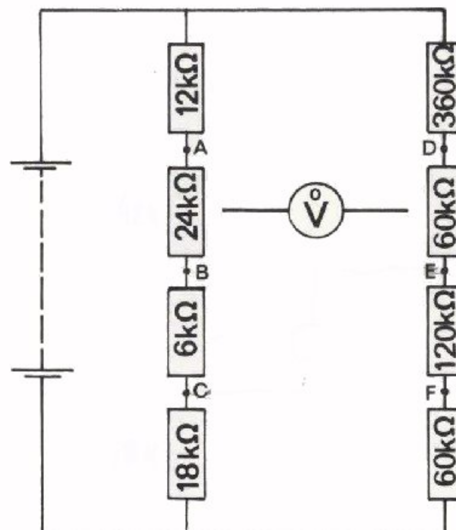
Deze brug is in evenwicht. Maakt men R_3 drie maal zo klein, dan is de brug uit evenwicht. Om de brug nu weer in evenwicht te krijgen moet men:

R_1 drie maal zo groot maken.	O
R_1 drie maal zo klein maken.	O
R_2 drie maal zo klein maken.	O
$\frac{R_2}{R_4}$ negen maal zo groot maken.	O

2. Een brug van Wheatstone is in evenwicht als R_2 = 100 Ω, R_4 = 10 kΩ en R_3 = 7358 Ω. Hoe groot is dan R_1?

R_1 =

3.



De meter zal niet uitslaan als hij aangesloten wordt tussen de punten:

A en E	O
B en E	O
B en F	O
C en E	O